

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

**VÝSKYT TĚŽKÝCH KOVŮ V PŮDÁCH  
V OBLASTI RYBÍ U NOVÉHO JIČÍNA**

bakalářská práce

**Autor práce:**

**Vedoucí bakalářské práce:**

Eliška Hrynyšinová  
prof. Ing. Raclavská Helena, CSc.

Ostrava 2013



**VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

Faculty of mining and geology  
Institute of environmental engineering

# OCCURANCE OF HEAVY METALS IN SOILS IN RYBÍ AREA AT NOVÝ JIČÍN

THESIS

Author:  
Supervisor:

Eliška Hrynyšínová  
prof. Ing. Raclavská Helena, CSc.

Ostrava 2013

## **Prohlášení**

Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence je možné navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

### **Poděkování:**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí práce prof. Ing. Heleně Raclavské, CSc., za laskavou pomoc, cenné rady a odborné vedení. Dále děkuji Ing. Jarmile Drozdové, PhD., za pomoc se statistickým zpracováním dat, Bc. Janě Sýkorové za spolupráci v laboratoři Institutu geologického inženýrství při analýze vzorků půd a Dr. Ing. Daliboru Matýskovi za připomínky a pomoc v oblasti geologického zpracování. Analýzy byly podpořeny z projektu „CZ.1.05/2.1.00/03.0082“ Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin.

Velké poděkování patří také mé rodině a přátelům, za podporu po celou dobu studia.

## ANOTACE

Tato práce se zabývá obsahem těžkých kovů v půdách v oblasti Rybí u Nového Jičína. V rámci práce bylo odebráno 56 vzorků lesních půd a půd v intravilánu obce, které byly po úpravě analyzovány v laboratoři a vyhodnoceny, bylo stanoveno geochemické pozadí a posouzena kontaminace na základě geochemického principu. Zdejší oblast je známá výskytem hornin těšínitové asociace v podloží, kde je zvýšený výskyt rizikových prvků přirozený, jedná se o chróm, vanad, titan či železo. V intravilánu obce se nachází i vzorky, kde byly vyšší obsahy Pb a Zn ovlivněné antropogenní činností.

***Klíčová slova:*** těžké kovy, půda, znečištění, geochemické pozadí, těšínity

## SUMMARY

This work deals with the content of heavy metals in soils in Rybí area at Nový Jičín. 56 samples of the soil from top horizon (soil in the village and forest soils) was collected. Soils were analyzed after treatment in the laboratory. Geochemical background for metals from forest soils and soil from village was determined. On the basis of geochemical principles contamination was determined. The area is known for the presence rocks of teschenite association in basement, where occur higher natural background of chromium, vanadium, titanium and iron. However, there are also samples with detected contamination of Pb and Zn of anthropogenic origin.

***Keywords:*** heavy metals, soil, pollution, geochemical background, teschenite

## **OBSAH**

<b>ÚVOD A CÍL PRÁCE .....</b>	<b>1</b>
1.1 Charakteristika oblasti a přírodní poměry .....	3
1.2 Geologie a geomorfologie území .....	4
1.2.1 Geochemie pikritů a těšínitů .....	5
1.2.1 Horniny vyvřelé .....	6
1.2.2 Horniny sedimentární .....	6
1.2.3 Geomorfologické členění .....	7
1.3 Pedologie .....	8
1.3.1 Půdní typy zájmové oblasti .....	8
1.4 Klimatické podmínky .....	9
1.5 Flóra .....	9
<b>2 PŮDA .....</b>	<b>10</b>
2.1 Funkce půdy .....	10
2.2 Kontaminace půd .....	10
2.3 Půdní pH .....	11
2.4 Oxidy Fe, Mn a Al v půdě .....	11
2.5 Sorpční schopnost půdy .....	12
2.6 Sorpce kovových kationtů .....	12
<b>3 FORMY VÝSKYTU TĚŽKÝCH KOVŮ V PŮDĚ .....</b>	<b>13</b>
3.1 Chróm .....	13
3.2 Měď .....	14
3.3 Mangan .....	14
3.4 Vanad .....	15
3.5 Zinek .....	16
3.6 Olovo .....	16
3.7 Arsen .....	17
3.8 Ostatní sledované prvky .....	18
3.8.1 Titan .....	18
3.8.2 Železo .....	18
<b>4 METODIKA A STANOVENÍ A ODBĚRU VZORKŮ .....</b>	<b>19</b>
4.1 Odběr půdního vzorku .....	19

4.1.1	Uchování a úprava vzorku .....	20
<b>5</b>	<b>PARAMETRY PRO HODNOCENÍ KVALITY PŮD .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>23</b>
6.1	Stanovení pH .....	23
6.1.1	Zhodnocení výsledků pH .....	23
6.2	Stanovení rizikových prvků v půdách .....	24
6.2.1	Příprava vzorku pro stanovení rizikových prvků .....	24
6.2.2	Výsledky měření rizikových prvků (RTG fluorescence) .....	25
6.3	Stanovení hodnot geochemického pozadí pro půdy v oblasti obce .....	25
6.4	Stanovení hodnot geochemického pozadí pro lesní půdy .....	29
6.4.1	Geochemické pozadí a práh geochemické anomálie .....	35
<b>7</b>	<b>VYHODNOCENÍ.....</b>	<b>36</b>
7.1	Zhodnocení geochemického pozadí.....	36
7.2	Zhodnocení kontaminace.....	37
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>40</b>



## ÚVOD A CÍL PRÁCE

V této práci se zaměřím na obsahy těžkých kovů v půdách obce Rybí. Vybrané téma mě zajímalo již delší dobu, jelikož jsem občankou této obce a kontaminace zdejších půd lze očekávat z důvodu značného automobilového provozu, přítomností průmyslových továren v nedalekých městech a taktéž množství lokálních topenišť občanů obce Rybí, což by mohlo zapříčinit přítomnost těžkých kovů v zemině. Hlavní cesta obce tvoří spojnici mezi dvěma velkými městy, a to Novým Jičínem a Kopřivnicí. Taktéž se zde nachází budova živočišné výroby, kde byl provoz v r. 2010 ukončen.

Vymezená oblast je známá velmi hojným výskytem hornin těšinitové asociace, která je z hlediska horninového typu podloží dominantní. Některé z těchto vyvěřelin obsahují vysoké koncentrace stopových prvků (Cr, Ti, Ni, Co, Ba, Sr, méně Cu, Zn atd.). Je reálně možné, že se v těchto půdách vyskytují vysoce kontrastní přirozené anomálie, které mohou zcela zakrýt antropogenní kontaminaci. Dalšími podložními horninami obce jsou sedimentární horniny (pískovce a vápence), pro které jsou typické vyšší koncentrace V, Cr, Rb, Sr, Zr, Ca, Bi, Mn a Ti (rozhovor s Dr. Ing. Matýskem, Ostrava, listopad 2012).

Těžkým kovům se dostává stále větší pozornosti vzhledem k rostoucímu porozumění jejich toxikologického významu v ekosystémech i pro lidské zdraví. Je pravdou, že půda je zdrojem kovů a funguje jako filtr chránící podzemí před vstupy potenciálně škodlivých kovů (ALLOWAY, 1995). Podlešáková (1995) uvádí, že zvýšené obsahy kadmia, berylia a arsenu mají především antropogenní původ, zatímco zvýšené obsahy kobaltu, chrómu, mědi, manganu, niklu a vanadu jsou zejména geogenního původu. Pro rizikové prvky je vždy nutné znát jejich pozadíové koncentrace (KOZÁK et al., 2009).

Kontaminace a následná degradace půdy je v dnešní době jeden ze závažných problémů ochrany půdy a do dnešní doby neexistuje v České republice žádný zákon na ochranu půd. Kontaminace souvisí zejména s imisní zátěží a je měřena překročením přírodního či antropického pozadí. (NĚMEČEK et al., 2010). Mezi škodliviny z dopravních imisí patří zejména antimon a měď, které se do ovzduší uvolňují z obložení spojky nebo brzd a rovněž olovo, které je součástí brzdového obložení (ŠUCMANOVÁ, 2004). Olovo, arzén a stopové množství zinku mohou vytvářet částice, které podléhají dálkovému přenosu a následné depozici do půd. Koncentrace těchto prvků je v lesních půdách závislá na nadmořské výšce, s rostoucí nadmořskou výškou jejich obsah stoupá (MATÝSEK et al., 2008). Kontaminace půdy představuje nebezpečí zejména z hlediska narušení funkce ekosystémů, kam patří i zdravotní stav rostlin, živočichů a lidí (KOZÁK et al., 2009).

Cílem práce je stanovení obsahu vybraných těžkých kovů v půdách (lesních i v intravilánu obce) v okolí obce Rybí a posouzení příčin kontaminace. Pro stanovení určeného cíle budu vycházet z následujícího postupu:

- Odběr vzorků lesních půd a půd v intravilánu obce.
- Stanovení geochemického pozadí pro oba soubory půd.
- Posouzení kontaminace na základě geochemického principu podle ČSN EN ISO 19258, 2012.

## 1.1 Charakteristika oblasti a přírodní poměry

Zájmové území s rozlohou 9 km<sup>2</sup> se nachází v Moravskoslezském kraji, v okrese Nový Jičín, v přírodním parku Podbeskydí (125 km<sup>2</sup>), který se z geomorfologického hlediska řadí do Podbeskydské pahorkatiny. Obec se rozkládá pod jižním svahem Libhošťské Hůrky a severovýchodně od svahu Holivák. Tato obec, tvořená údolím, je vzdálená 5,5 km východně od Nového Jičína, odkud vede přes obec Rybí hlavní silniční tah na město Kopřivnici a Štramberk (Rybí [online], 2006).



Obrázek 1: Mapa území v měřítku 1:1000 (zdroj: [www.geoportal.gov.cz](http://www.geoportal.gov.cz))

V této obci žije přibližně 1200 obyvatel, jejichž pracovní příležitost je omezena a vesměs většina obyvatel dojíždí za prací do nedalekých měst. I přesto, že je obec plynofikovaná, zdroj emisí z lokálních topenišť občanů je zřejmý, jelikož mnoho obyvatel vytápí svá obydlí uhlím. Při spalování uhlí dochází ke generaci oxidů dusíku a oxidů síry, což má za následek kyselou depozici a uvolňování tuhých znečišťujících látek (TZL) v závislosti na kvalitě spalovaného paliva.

Další možnou příčinou kontaminace mohou být výfukové plyny motorových vozidel, které jsou hlavním zdrojem těžkých kovů (Sb, Cu, Zn, Pb) a oxidu dusíku. Tyto oxidy následně reagují v atmosféře s vodou a jinými materiály za vzniku kyseliny dusičné a kyseliny sírové, které jsou často transportovány na velmi dlouhé vzdálenosti větrem. Tyto kyseliny pak spolu s deštěm, sněhem či mlhou klesají k zemi a dostávají se do půd. Právě tento dálkový přenos polutantů může mít podíl na znečištění ovzduší v obci Rybí. Polutanty mohou pocházet z nedalekého města Štramberk, kde dochází k těžbě vápence. Možným znečišťovatelem obce Rybí je i město Nový Jičín nebo Kopřivnice. Vzhledem k převládajícímu S a SV proudění v obci Rybí, je možný dálkový přenos škodlivin z města Ostravy, vzdáleného přibližně 30 km. Nachází se zde velké množství lokálních průmyslových zdrojů rizikových prvků, zejména z hutnictví či elektráren. Značné množství

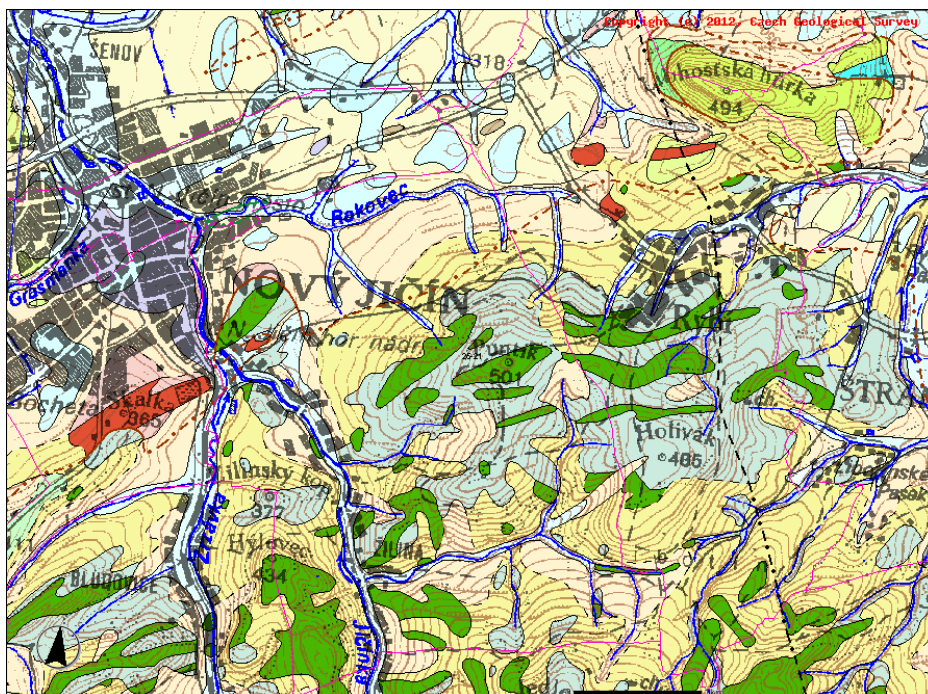
rizikových prvků nebo těžkých kovů, jako například Pb, Zn, As, atd., jsou přítomné v průmyslových emisích.

## 1.2 Geologie a geomorfologie území

Zájmovou oblast, náležící do Moravskoslezských Beskyd, nalezneme v severovýchodním cípu Moravy u slovenských hranic. Jako samostatná geologická jednotka vnějších Západních Karpat je toto území tvořeno převážně lehce erodovatelnými flyši, jako jsou godulské pískovec, jílovec a slíny druhohorního stáří. Pohoří se rozkládá na území přes 620 km<sup>2</sup> a průměrná výška je 700 m. n. m. (ČIHAŘ, 2002).

Moravskoslezské Beskydy náleží podslezské a slezské jednotce vněkarpatského příkrovového systému a jsou tvořeny dvěma odlišnými a navzájem překrývajícími patry, a to variským a neoidním. V rámci přírodního parku Podbeskydí můžeme rozdělit (z hlediska geomorfologie) Podbeskydskou pahorkatinu na 3 pásma: Veřovická brázda, Příborská pahorkatina a Štramberská vrchovina, ležící ve střední části. Zde se nachází obec Rybí. Štramberská vrchovina je typická četnými pahorky a hřbety vyvřelin pikritů a těšinů zejména v západní části, ve střední části jsou to vrchy vápencového bradla Štramberského (MENČÍK et al., 1983; chkopoodří.infomorava [online], 2008).

Následující obrázek č. 2 zobrazuje výsek geologické mapy pro vzorkovanou oblast. Mapa je v měřítku 1: 50 000.



Obrázek 2: Geologická mapa 1: 50 000 (zdroj: [www.geology.cz](http://www.geology.cz))

Vysvětlivky:

- těšinit, pikrit, tuf, tufit
- jílovec, pískovec, pelosiderit (marinní)
- pískovec, silicit, vápenec, jílovec (marinní)
- kamenito-písčito-jílovitá eluvia sedimentárních hornin badenu, karpátu a flyše

### 1.2.1 Geochemie pikritů a těšinitů

Těšinitová asociace se vyznačuje rozsáhlou skupinou hornin s proměnlivým zastoupením tmavých a světlých minerálů. Hovorka a Spišiak (1988) dělí tyto horniny na 4 skupiny: pikrity, bazalty, těšinity a monchiquity.

**Bazalty, monchiquity a pikrity** vytvářejí přechodné horninové subtypy, pro které je typická velká proměnlivost v obsahu pyroxenů, živců a olivínů. Jedná se o tmavé, jemnozrnné horniny. Vyroستlice jsou tvořeny amfiboly, pyroxeny a biotity (BURIÁNEK a SKÁCELOVÁ, 2007). Tyto horniny se řadí mezi vyvřelé, výlevné a lze je považovat za vulkanity. **Těšinity** jsou většinou tmavošedé barvy, jemně až hrubě zrnité. Z tmavých minerálů obsahují proměnlivé množství augitu, barkevikitu a biotitu. Analcim doplňuje volná místa mezi tmavými minerály a plagioklasy. Může zde být přítomen i malý obsah živce (HEJTMAN, 1981). Zrnitost těchto vyvřelin závisí na mocnosti ložních žil. Drobnější žilná tělesa obsahují většinou jeden typ horniny. Při kontaktu s okolím se zrnitost směrem ke středu zvyšuje (MENČÍK et al., 1983).

Těšinity jsou specifickými horninami s vysokým obsahem stopových prvků, které jsou vázána na určité minerály. Wilkinson (1959) uvádí, že v **olivínech** je vázán Ni a Co, v **klinopyroxenech**: Cr, Ni, Co, V, Zr, Sc, Sr, v **titanomagnetitech**: Ga, Cr, Ni, Co, V, Ca, na **živcích**: Ga, Sr, B a v **analcimu**: Ga, Zr, Ba, Rb. V závislosti na průběhu frakcionace krystalizace se obsahy těchto stopových prvků mohou výrazně měnit.

Podle Hovorky a Spišiaka (2004), silný vliv na chemickém složení těchto vulkanických hornin v Západních Karpatech má už malé množství (několik stovek m<sup>3</sup>) lávových proudů, které se mísí s vápenatým podkladem. Výsledkem vulkanické činnosti jsou diferencované horniny čedičového typu. Charakteristickým rysem pyroxenů je přítomnost biotitů, apatitů, chloritů a karbonátů. Celkově se sopečné horniny Západních Karpat vyznačují nízkým obsahem SiO<sub>2</sub> (cca 39 hm. %), vyšším obsahem TiO<sub>2</sub> a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (3.2, a/nebo 0.8 hm. %) a zvýšeným obsahem Cr (280 ppm) a Ni (190 ppm), Ba (650 ppm), Sr (700 ppm), Nb (78 ppm), V (245 ppm) a Zr (305 ppm). Kromě alkalických vulkanických hornin ve střední části Západních Karpat jsou zde i výskyty již zmíněných pyritických hornin. Petrograficky jsou to hrubozrnné horniny z olivínu, dvou typů clinopyroxenů, flogopitu, kaersutitu, Fe-Al-Cr-spinel a apatitu, chloritů, karbonátů, atd.

Následující tabulka č. 1 uvádí chemickou analýzu petrografických typů hornin, které se na zájmovém území nacházejí. Na základě této tabulky mohou zjistit, které prvky lze v odebraných vzorcích půdy očekávat ve vyšších koncentracích v důsledku horninového podloží. Výsledky uvedené v tabulce č. 1 (průměrné hodnoty jednotlivých prvků v mg/kg) dokumentují vyšší obsahy Cr, Ba a Sr v pikritech než v těšinitech. Pro těšinity je typický vyšší obsah V. Tyto výsledky jsou v souladu s geochemickou charakteristikou hornin, kterou uvádí Hovorka a Spišiak (2004). Obsahy Pb jsou ve všech typech podložních hornin nízké.

prvek	těšínit	pikrit	vápenec	prachovec	pískovec hradišťský
	mg/kg				
<b>Zn</b>	102	66	88	37	80
<b>As</b>	<5	<5	<5	7	<5
<b>Cu</b>	74	55	5	57	36
<b>Rb</b>	5	8	<5	50	<5
<b>Zr</b>	189	189	<5	100	100
<b>Cr</b>	309	767	32	49	489
<b>Pb</b>	10	<5	<5	20	7
<b>Sr</b>	208	487	235	90	461
<b>Ti</b>	26 000	20 200	300	3500	13600
<b>V</b>	586	228	<5	55	155
<b>Ba</b>	184	1920	100	445	448

Tabulka 1: Chemická analýza vybraných hornin (RACLAVSKÝ et al., 1999)

### 1.2.1 Horniny vyvřelé

Z geologického hlediska se na vymezeném území Rybí nachází vyvřelé horniny na kopci Holivák a Puntík. Jsou to zejména těšínity a pikrity.

Obsah prvků v těchto horninách je ovlivněn už při diferenciaci magmatu. Obsah a forma jednotlivých prvků ve vyvřelinách je podmíněna místem a dobou vzniku horniny. Zvýšené obsahy Cr, V, Co, Ni, Zn či C jsou zejména v bazických a ultrabazických horninách (biotit, pyroxeny). Tyto horniny mají přirozeně zvýšený obsah určitých prvků v půdách, stejně tak mají zvýšené obsahy i v půdách geochemických anomálií. Obsah kovů je v takových oblastech stejný nebo i vyšší než v silně znečištěných půdách. Rozdílů mezi půdou znečištěnou antropogenním způsobem a půdou s geochemickou anomálií je mnoho. Například půdy na geochemických anomáliích mají často menší plochu než půdy antropogenně znečištěné. Další rozdíl je, že v oblastech s geochemickou anomálií, obsah prvků od humózního horizontu směrem do hloubky stoupá. V průmyslově znečištěné oblasti se kovy hromadí v povrchové vrstvě půdy a směrem do hloubky obsah klesá (BENEŠ, 1994). Jeden z hlavních faktorů, který způsobí dostatek či nedostatek prvků v půdě, je jeho uvolnitelnost. Zvětrávání je jeden z podstatných zásahů, který má za následek rychlejší uvolňování prvků ze struktury minerálů (RACLAVSKÝ et al., 2009). Uvolnitelnost prvků u vyvřelých hornin stoupá od kyselých hornin přes neutrální k horninám bazickým (BENEŠ, 1994).

### 1.2.2 Horniny sedimentární

Sedimentární horniny se v rámci vzorkovaného území nacházejí na Libhošťské hůrce. Jedná se o pískovce, jílovce a vápence.

Obsah a uvolnitelnost prvků z těchto hornin je dána typem zvětrávání, podmínkami při sedimentaci či zpevňováním vzniklých zvětralin. Dalším faktorem, který ovlivňuje uvolňování je i zrnitostní složení. V sedimentárních horninách je obecně obsah těžkých kovů poměrně nízký. Uvolnitelnost mikroprvků z těchto hornin je ovlivněna velikostí zrn.



Největší uvolnitelnost prvků při zvětrávacích procesech je v případě, kdy se částečně či úplně rozpadly krystalové mřížky původních nerostů. Mezi snadno uvolnitelné patří prvky vázané v karbonátech, naopak nejnižší uvolnitelnost je z hornin křemičitých (BENEŠ, 1994).

### 1.2.3 Geomorfologické členění

Hierarchické členění geomorfologických jednotek (DEMEK et al., 1987).

**Systém:** Alpsko – himalájský

**Provincie:** ZÁPADNÍ KARPATY

**Soustava:** Vnější západní karpáty

**Podsestava:** Západobeskydské podhůří

**Celek:** Podbeskydská pahorkatina

**Podcelek:** Štramberská vrchovina

**Okrsek:** Libotínské vrchy

Zájmové území je součástí geomorfologického celku Podbeskydská pahorkatina v okrsku Libotínských vrchů, které jsou součástí střední části Štramberské vrchoviny.

Tento celek spadá do soustavy Vnějších Západních Karpat. Vytváří velký na sever vyklenutý oblouk, v němž převládá georeliéf na flyšových horninách. Severovýchodně navazuje podsoustava Západních Beskyd lemována Západobeskydským podhůřím. Jedná se o ploché pahorkatiny s vyššími pískovcovými masívy (MIŠTERA et al., 1985).

**Libotínské vrchy** jsou členitou vrchovinou nacházející se ve střední části Štramberské vrchoviny. Nalezneme zde flyšové jílovce a pískovce slezského příkrovu s četnými vyvělinami těšínitu. Libotínské vrchy řadíme mezi příkrovové trosky na odolných horninách se zbytky terciérních povrchů. Mezi významné body patří Holivák (484 m. n. m.) a Libhošťská hůrka (494 m. n. m.) (DEMEK et al., 1987).

*Libhošťská hůrka* leží 494 m. n. m. a jako zbytek terciárního zarovnaného povrchu je to jeden z významných bodů Libotínských vrchů. Nedaleko se rozkládá město Libhošť, 2 km severně od svahu. Příkrovová troska připomíná tvar hřbetu, který je tvořen flyšovými jílovci a pískovci bašských vrstev slezského příkrovu. Libhošťská hůrka se vyznačuje smrkovými lesy s příměsí buku. Nachází se zde kamenolom (DEMEK et al., 1987).

*Holivák* se rozkládá 2 km na jih od obce Rybí. Lesní společenstva se nacházejí na úbočích kopce. Vrchol Holiváku je bezlesý a je součástí rozložitě příkrovové trosky, která je složená zejména z flyšových pískovců a jílovců s vyvělinami těšínitu. Holivák se taktéž řadí mezi zbytky terciérního zarovnaného povrchu (DEMEK et al., 1987).

## 1.3 Pedologie

Pedologie je vědní obor zabývající se studiem půdy. Půda, jakožto dynamický systém, plní mnoho důležitých funkcí nejen pro lidskou činnost, ale také pro plnohodnotné žití ekosystému. Na vzniku a vývoji se účastní mnoho tzv. půdotvorných faktorů, jako je matečná hornina, biologičtí činitelé, klimatické poměry, podzemní voda, reliéf, stáří krajiny, apod... Vzájemné působení těchto faktorů ovlivňuje půdní typ, který je typický určitými morfologickými znaky a fyzikálními, chemickými či biologickými vlastnostmi. Podmínky půdotvorného procesu jsou velice proměnlivé geograficky i v čase (KOZÁK et al., 2009).

### 1.3.1 Půdní typy zájmové oblasti

Dle půdní mapy ČR se na vymezeném území v okolí obce Rybí vyvinuly půdy převážně hnědé kyselé, hnědé půdy nevyvinuté, a to v části lesních půd Libhošťské hůrky. Na kopci Holiváku a Puntík jsou to převážně hnědé půdy eutrofní, hnědé půdy kyselé a hnědé půdy. V rámci půd v intravilánu obce se jedná o hnědé půdy oglejené (Půdní mapa ČR, 1993)

**Hnědé půdy (kambizemě)** - Mladý a velice rozšířený půdní typ. Jako půdotvorný substrát se uplatnily mnohé z hornin skalního podkladu (lehké půdy – pískovce a žula; středně těžké půdy – čedič a svor; těžké půdy – břidlice)). Hnědé půdy jsou rozšířeny v členitém reliéfu, kde jsou typické svahy a hřebeny, v málo členitém reliéfu by se tyto půdy nejspíš v průběhu času přeměnily v jiný půdní typ. Rozlišujeme kambizemě nižších (300 – 600 m n. m.) a vyšších poloh (600 – 1000 m n. m.). V nižších oblastech se nachází méně humusu, ale více jílu než horské půdy. Tyto půdy vznikají za intenzivního vnitro - půdního zvětrávání. Dle stratigrafie se pod humusovým horizontem nachází hnědá až rezivě hnědá zbarvená půda, kde probíhá intenzivní zvětrávání. Až hlouběji leží méně dotčená hornina, která je oproti předešlému horizontu odlišně zbarvená, a to světleji. Hnědé půdy jsou zpravidla skeletovité a zrnitost se mění v závislosti na charakteru matečné horniny. Obsah humusu závisí na nadmořské výšce. Nejvyšší obsahy mají půdy na těžších nebo bazických substrátech (čedič). Půdní reakce je kyselé až slabě kyselé a sorpční kapacita se mění vzhledem k obsahu humusu.

**Hnědá půda eutrofní** – vyznačuje se vysokým obsahem humusu, příznivou půdní reakcí a sorpční schopností, vyskytuje se na bazických horninách.

**Hnědá půda kyselé** – je zde zřejmý pokles půdní reakce a nízké nasycení sorpčního komplexu.

(TOMÁŠEK, 2007; JANDÁK et al., 2001).



## 1.4 Klimatické podmínky

Vymezené území se nachází v teplé oblasti s označením W2. Následující zpracování klimatických charakteristik bylo založeno na všech údajích, které byly za období 1961 – 2000 digitalizovány na měřicích stanicích.

Počet letních dní: 30 – 40	Počet dní s průměrnou teplotou 10°C a více: 140-160
Počet ledových dní: 40 – 50	Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více: 100-120
Průměrná lednová teplota: -2 - -3 °C	Suma srážek ve vegetačním období: 400 – 450
Průměrná červencová teplota: 16 – 17 °C	Suma srážek v zimním období: 250 – 300
Průměrná dubnová teplota: 6 – 7 °C	Počet dní se sněhovou pokrývkou: 60 – 80
Průměrná říjnová teplota: 7 – 8 °C	Průměr ročních maxim vzduchu: 31 – 32 °C
Počet zatažených dní: 120 – 150	Průměr ročních minim vzduchu: -20 - -19 °C
Počet jasných dní: 40 – 50	Průměr ročního max. denních úhrnů srážek: 50-60 mm
Průměrná teplota vzduchu: 7 – 8 °C	Průměrný sezonní počet dní se sněžením: 60 - 70 dní
Průměrný úhrn srážek: 800 - 1000 mm	Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu: 75 - 80 %
Průměrná roční oblačnost: 65 – 70 %	Průměrná roční rychlost větru: 3 – 4 m.s-1
Převládající směr větru: SV	
(TOLASZ et al., 2007).	

Směr větru	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Calm (%)
Četnost ze směru (%)	10,5	35	10,2	4	15	15	3,5	2	10,3

Tabulka 2: Větrná růžice vymezeného území a okolí (TOLASZ et al., 2007)

Calm => procentuální zastoupení bezvětrí.

Klima je ovlivňováno mnoha faktory, ať už se jedná o nadmořskou výšku, směr větru či směr terénních tvarů (NAJBRT, 1974). Podnebí vymezené oblasti se vyznačuje chladnými hřebeny a vrcholy (ČIHAŘ, 2002). Nejteplejší oblasti jsou v údolích a se stoupající výškou teplota klesá. Severní a severovýchodní větry přinášejí v letních měsících chlad a v zimě mrazy. Na podzim je suché počasí způsobeno východními větry. (NAJBRT, 1974).

## 1.5 Flóra

Druhové složení rostlin této oblasti je poměrně chudé, avšak horstvo pokrývají z 60 – 70 % lesy, což je velká část. Nejčastěji jsou zde k vidění smrkové monokultury. Kyselé bučiny s příměsí smrku či jedle rostou zejména v nižších polohách. Pro vyšší polohy jsou typické smrčiny s bylinnými druhy. Velmi častým společenstvem beskydské přírody jsou suťové lesy. V příkrých svazích převažuje javor a lípa. Údolní nivy potoků a říček obrůstají olše jeseniny nebo horské olše. Je zde však i mnoho bezlesých oblastí, jako jsou horské a hřebenové louky (ČIHAŘ, 2002). V důsledku velké části pískovcového podkladu je květena chudá, jelikož je zde nedostatek vápnitých živin. Z přirozených porostů zde zůstalo jen malá část bučin, tisů či dubů. Z listnatých stromů je zde nejvíce rozšířený habr, jasan, klen, dub a buk. Z lesních plodin je zde nejhojnější borůvka a mnoho jedlých i jedovatých hub (NAJBRT, 1974).

## 2 PŮDA

Půdu lze definovat jako dynamický a živý systém, který vznikl působením půdotvorných faktorů. Tvoří životní prostředí půdních organismů, planě rostoucích rostlin i cíleně pěstovaných kulturních plodin. Slouží jako úložiště, ale také jako zdroj potenciálně rizikových látek (mzp[online], 2012). Výstižnou definici půdy vyslovil jeden ze zakladatelů světového půdoználectví V. V. Dokučajev, který řekl, že půda je: „samostatný přírodně – historický útvar, který vzniká a vyvíjí se zákonitým procesem, jenž probíhá působením několika půdotvorných činitelů“ (TOMÁŠEK, 2007).

Půda tvoří komplexní heterogenní směs, která se skládá z minerálů, organické hmoty a vodních a plyných komponentů (ALLOWAY, 1995). Minerální podíl tvoří oxidy a hydroxidy, dále pak jílové minerály a primární minerály, které se v půdě vyskytují jako větší částice (VRBA a HULEŠ, 2007). Organická hmota se skládá z živých organismů a humusu. Tyto pevné složky tvoří tzv. agregáty, čímž vytváří systém pórů v různých velikostech naplněných vodou nebo vzduchem. Mají schopnost adsorbovat ionty, což závisí na pH, redoxních podmínkách a relativní koncentraci iontů přítomných ve vodném půdním roztoku (ALLOWAY, 1995). Organický podíl půdy je zastoupen nehumifikovanými a humifikovanými látkami. Nehumifikované jsou tvořeny nerozloženými či částečně rozloženými zbytky rostlin, živočichů a mikroorganismů. Humifikované látky vznikají za omezeného přísunu kyslíku spolu s mineralizací organické hmoty a spoluúčasti enzymů. Vzniká tzv. trvalý humus. Humusové látky dále rozdělujeme na huminové kyseliny, fluvokyseliny a huminy. Všechny tyto látky zlepšují půdní vlastnosti a ovlivňují schopnost půd odolávat negativním vlivům (VRBA a HULEŠ, 2007). Tato heterogenní směs je důležitá také pro kořeny rostlin, které uvolňují CO<sub>2</sub> a vylučují organické sloučeniny, které zodpovídají za mikrobiální aktivitu, dále upravují fyzikální a chemické vlastnosti půdy a tím ovlivňují biologickou dostupnost některých chemických prvků (ALLOWAY, 1995).

### 2.1 Funkce půdy

Mezi hlavní funkce půdy patří dle směrnice EU produkce biomasy, akumulace živin, látek a vody, dále je to důležitý zdroj surovin (přírozená zásobárna vody) a zásobárna biodiverzity (KOZÁK et al., 2009). Pro transport živin je funkce akumulace velmi podstatná. Přírozeně je půda schopna uvolňovat do půdního prostředí celou řadu živin. Další schopností půdy je uchovat mnoho ekosystémů, které jsou pro ni důležité zejména při tvorbě samotné půdy, fixaci dusíku a cyklu živin (KOZÁK et al., 2009).

### 2.2 Kontaminace půd

Kontaminace půdy se řadí k procesům, které negativně ovlivňují ekologickou funkci půdy a její produkční schopnost. Ovlivňuje ji celá řada organických i anorganických

látek, které se do půdy dostávají přirozenou či antropogenní aktivitou. Nebezpečí těchto látek může mít negativní vliv na ostatní složky ekosystému, na organismus člověka či snížení rostlinné produkce (mzp[online], 2012). V případě rizikových prvků je pozornost soustředěna zejména na arsen, kadmium, nikl, olovo a chrom. U těchto prvků bylo pozorováno nejčastější překročení limitu (KOZÁK et al., 2009). Rizikové prvky se mohou vyskytovat v půdách přirozeně a to jako součást mineralogického složení substrátu. Je proto potřeba stanovit pozadňové hodnoty obsahu těchto prvků. Překročení vrchní meze upozorňuje na zvýšený přísun kontaminantů do půdy (NĚMEČEK et al., 2010).

U lesů je velmi těžké rozeznat negativní působení vnějších faktorů, které nejsou součástí pedologie. Hynutí lesů je nejčastěji spojováno s imisemi v oblastech kyselých dešťů nebo se vstupem dusíku z dopravy. Zvýšené toxické speciace iontů Al a iontu  $\text{NH}_4^+$  jsou hlavními negativními působiteli, jelikož blokují příjem živin buněčnými membránami. Režim živin je ovlivněn řadou kontaminantů a tak dochází k ohrožení vazeb mezi půdou a půdními mikroorganismy v nadložním humusu (NĚMEČEK et al., 2010).

## 2.3 Půdní pH

Acidifikace neboli okyselování půdy je jedním z hlavních problémů kvality půdy. Studium půdní acidifikace se zabývali Edmund Ruffin (první osoba na vápenné půdy), E. P. Veitch, Bradfield, Kelley a Brown (1926), Page (1926), Marshall (1934) in (SPARKS, 2003).

Při zvýšení pH rozpustnost iontů klesá a dochází ke srážení, ke vzniku oxidů a hydratovaných oxidů. V oblasti kyselého pH zůstává však Al, Fe, Mn v rozpustné formě, což může být toxické pro rostliny. Kyselost půd mohou ovlivňovat i minerály, například pyrit, který může být přítomen v podložních horninách (SPARKS, 2003). Půdní pH a její kyselost ovlivňuje koncentrace  $\text{H}^+$  iontů nebo  $\text{Al}^{3+}$  a taktéž změna redoxního potenciálu. Snížení hodnoty oxidačně-redukčního potenciálu obvykle způsobí nárůst pH a oxidace přináší snížení. Půdy mají několik mechanismů, které slouží k vyrovnávání pH. Ke zvyšování pH dochází s nárůstem hloubky, a tím zvýšení vlhkosti. Obecně platí, že kationty těžkých kovů jsou nejvíce mobilní v kyselém prostředí a vzrůst pH vápněním obvykle snižuje jejich biologickou dostupnost (ALLOWAY, 1995).

## 2.4 Oxidy Fe, Mn a Al v půdě

Tyto oxidy významně ovlivňují chemické chování kovů v půdách. Oxidy železa, manganu a hliníku se vyskytují ve formě povlaků (amorfní), vyplní dutin nebo tvoří krystalické agregáty. Nejhojněji zastoupeny v půdě jsou oxidy Fe (ALLOWAY, 1995). Adsorpce kovů se zvyšuje se stoupajícím pH. Při adsorpci na železné oxidy je sorpce Cd, Cu, Cr, Zn, Pb, Ag a As závislá na chemickém složení roztoku, pH a koncentraci sorbentu a sorbované látky. Adsorpce probíhá v následujícím pořadí:  $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Ag} > \text{Se} > \text{Cr} > \text{As}$  (RACLAVSKÝ et al., 2009)

## **2.5 Sorpční schopnost půdy**

Schopnost jílových minerálů a organických látek poutat určité množství vody, živin a kationtů do krystalové mřížky se nazývá sorpce. Je to určitá schopnost půdy poutat látky z disperzního prostředí. Dochází při tom k objemovým změnám, přičemž druh minerálu podmiňuje velikost sorpce. Měřítkem je tzv. sorpční kapacita (mval/ 100 g půdy). Sorpční schopnost závisí na obsahu humusu a jílu. Velký význam má pro výživu rostlin a taktéž má vliv na vyplavování živin do spodních vrstev. Vysoká sorpční kapacita je pozitivní za značného přísunu kationtů ze sorpčního komplexu půdy k rostlinám. Půdy s vysokou sorpční schopností mají minimální ztrátu kationtů vlivem vyplavování, oproti půdám s nižší sorpční kapacitou. Zvýšená sorpční kapacita půdy přispívá ke stejnoměrnému zásobování rostlin živinami v kationové formě (VRBA a HULEŠ , 2007 ; JANDÁK et al., 2001).

## **2.6 Sorpce kovových kationtů**

Půdní sorpce kovových kationtů je závislá na pH a je charakterizována v určitém rozsahu pH. Postavení pH pro konkrétní kationt kovu souvisí s jeho hydrolýzou či charakteristikou kyselinové báze. Kromě pH je sorpce kovů závislá na sorpční koncentraci a typu sorbentu (ALLOWAY, 1995; SPARKS, 2003).

### 3 FORMY VÝSKYTU TĚŽKÝCH KOVŮ V PŮDĚ

Těžké kovy patří mezi nejvýznamnější polutanty životního prostředí antropogenního původu. Jejich hlavním zdrojem je průmyslová činnost, průmyslová hnojiva, doprava, apod. Tyto látky se dostávají do vod, ovzduší a v důsledku depozice i do půd s vlivem na zdraví člověka i funkci přírodních ekosystému. Toxickými kovy se rozumí takové kovy, které mají prokazatelný negativní dopad na rostlinné i živočišné organismy (ŠPUNDA, 2001). Těžké kovy označují skupinu prvků o atomové hustotě větší než  $5 \text{ t.m}^{-3}$  (RACLAVSKÝ et al., 2009). Tyto kovy procházejí v půdě různými půdotvornými a biochemickými procesy, které jsou ovlivněny vlivy z vnějšího prostředí, jako jsou prachové částice z půdy či antropogenní znečištění (ALLOWAY, 1995). Většinu těžkých kovů v nízkých koncentracích životní procesy v organismech vyžadují, avšak ve větších koncentracích působí toxicky. Samostatně se vyskytují jen zřídka, mnohem častěji jsou součástí různých sloučenin a výsledná toxicita je vždy závislá na formě výskytu (RACLAVSKÝ et al., 2009). Potenciálně nejnebezpečnější prvky jsou As, Cd, Cr, Hg a Pb. Mezi ostatní toxické neboli škodlivé kovy se řadí Ba, Be, Bi, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Tl, V, W a Zn (TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

Koncentrace těžkých kovů v půdě má přímou závislost na obsahu prvků v matečné hornině. Pro hodnocení kontaminace je nutné znát geochemické pozadí prvků v půdách. Maximálně přípustné hodnoty a celkové obsahy jsou uvedeny ve vyhlášce č. 13/1994 Sb. (RACLAVSKÝ et al., 2009).

V následujícím popisu vlastností a forem výskytu uvádím pouze ty rizikové prvky, které jsem stanovila metodou RTG – fluorescence v analyzovaných půdách.

#### 3.1 Chróm

Chróm je obdobně jako vanad zastoupen v zemské kůře v množství přibližně 122 mg/kg. Jako litofilní prvek vytváří akumulace zejména v ultrabazikách. Antropogenním zdrojem je spalování fosilních paliv, odpadní vody či průmyslové emise. Je to prvek, který se přirozeně vyskytuje v přírodě, horninách, půdě, rostlinách a živočišných organismech. Velké množství chrómu v půdě je vázáno na oxidy Al a Fe (GREENWOOD a EARNSHAW, 1993; TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

V přirozeném prostředí se vyskytuje v třetím nebo šestém oxidačním stupni ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ) jako  $(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}$  a  $(\text{CrO}_4)^{2-}$ . Je zde velká závislost na pH prostředí. Dichromany převažují v prostředí s  $\text{pH} < 6$  a chromanové ionty s  $\text{pH} > 6$ . V oblasti  $\text{pH} 4,5 - 5,5$  je  $\text{Cr}^{3+}$  stabilní, vyšší mobilita Cr i biodostupnost prvků nastává v oblasti silně kyselého nebo naopak silně alkalického pH. Příjem rostlinami a potravním řetězcem je omezen, a to i za podmínek, že je půda kyselá. Vysoké koncentrace se mohou vztahovat ke geochemickému charakteru podložních hornin území (ROSS et al., 2007, RACLAVSKÝ et al., 2009).

Koncentrace chromu v půdách ČR je přibližně 100 mg/kg. Nejnižší koncentrace jsou v půdách písčitých, vápencích a pískovcích, naopak nejvyšší obsahy jsou v syenitech, granitech (100 – 500 mg/kg) a tufech (200 – 300 mg/kg), (TREBICHA VSKÝ et al., 1998). Podle vyhlášky MŽP ČR (č. 12/1994 Sb.) jsou maximálně přípustné obsahy koncentrace 40 ppm (ve výluhu 2M HNO<sub>3</sub>) a jako celkový obsah 100, resp. 200 ppm (NĚMEČEK et al., 2010).

### 3.2 Měď

Esenciální stopový prvek vyskytující se přirozeně v horninách, půdě, rostlinách i živočišných organismech. V zemské kůře jeho obsah činí přibližně 68 mg/kg. Výskyt je hojný také v minerálech sulfidů, oxidů a uhličitů. Hlavními nerosty jsou chalkopyrit CuFeS<sub>2</sub>, chalkozín Cu<sub>2</sub>S či malachit Cu<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub> (GREENWOOD a EARN SHAW, 1993). Z antropogenních zdrojů se do životního prostředí dostává z atmosférické depozice, průmyslové výroby při zpracování kovů, při spalování odpadů nebo při spalování fosilních paliv. Obsah tohoto kovu v půdě závisí na pH, na množství organické hmoty a mikroorganismů (TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

Měď je v půdě zastoupena ve formě iontů v druhém oxidačním stupni nebo ve formě komplexů. Nejčastěji se váže na minerální a organické látky. Významné komplexy tvoří s huminovými kyselinami. Organické sloučeniny Cu jsou mnohem více mobilní v oblasti kyselého pH, dochází k vyplavování Cu do spodních horizontů. V neutrálních až zásaditých půdách se komplexy mědi rozpadají a jsou adsorbovány povrchem jílových minerálů, dochází ke srážení a tím k menší pohyblivosti. Za těchto podmínek je měď jeden z nejméně mobilních stopových prvků v půdě. V půdě je měď vázaná díky kationové výměně a adsorpci. Jako stabilní sloučeniny lze uvést sulfidy, oxidy či fosfáty (RACLA VSKÝ et al., 2009; ROSS et al., 2007)

Nedostatek mědi nastává v podzolových půdách a na přehnojených či převápněných půdách, naopak vysoké koncentrace obsahují hnědé půdy na flyšových sedimentech. Průměrný obsah v půdách ČR činí 26 mg/kg (TREBICHA VSKÝ et al., 1998). Podle vyhlášky MŽP ČR (č. 12/1994 Sb.) jsou maximálně přípustné obsahy stanoveny na 30 ppm pro lehké půdy a 50 ppm pro ostatní půdy (ve výluhu 2M HNO<sub>3</sub>). Jako celkový povolený obsah byly určeny koncentrace 60, resp. 100 ppm (NĚMEČEK et al., 2010).

### 3.3 Mangan

Mangan, jako druhý nejrozšířenější kov po železe, se svým přirozeným způsobem vyskytuje v zemské kůře s obsahem přibližně 1060 ppm, tj. 0,106 %. Tento kov je součástí více než 300 různých minerálů, které jsou v přírodě velmi rozšířeny (GREENWOOD a EARN SHAW, 1993). Mangan se přirozeně vyskytuje v půdách, sedimentech, rostlinách i živočišných organismech. Mezi základní vyvěřeliny, které obsahují přirozeně vysoké

koncentrace Mn patří andezity, některé žuly či gabro a olivín. V půdě se vyskytuje ve větších koncentracích, než jiné stopové prvky. Do životního prostředí se dostává z atmosférické depozice, výfukových emisí, při průmyslových procesech (výroba strojírenských ocelí a elektrických akumulátorů), (ROSS et al., 2007; TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

Iontové formy manganu v půdě jsou  $Mn^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$  a  $Mn^{2+}$ , který má větší biologickou dostupnost (hlavní forma přijímána rostlinami). Forma výskytu a obsah je závislý na pH, obsahu organických látek, mikrobiální aktivitě půdy a redoxním potenciálu. V pevné fázi je známý jako  $MnO_2$ . Oxidy manganu se liší v rozpustnosti. Právě oxidace na  $MnO_2$  snižuje rozpustnost a tudíž i přijatelnost rostlinami je omezena, v redukčních podmínkách přechází  $MnO_2$  na  $Mn^{2+}$  a následuje přístupnost Mn rostlinami. Uvolnitelnost a chování manganu ovlivňuje pH, za mírně kyselého prostředí je Mn mobilní jen částečně a s rostoucí aciditou roste i rozpustnost a mobilita. Při vyšších hodnotách Mn vznikají oxidy, které akumulují stopové prvky, což vede k nedostatku Mn v rostlinách. Mangan tvoří široké spektrum forem, jedná se o vodorozpustné formy, výměnné, mobilní, snadno redukováné, apod. (TREBICHA VSKÝ et al., 1998; RACLAVSKÝ et al., 2009)

Koncentrace manganu je vysoká zejména ve vyvěřelých horninách, kde obsah roste od kyselých hornin (100-500 mg/kg) k neutrálním (400-900 mg/kg), bazickým a ultrabazickým horninám (1000-2000 mg/kg). Obsah manganu ve výlevných horninách činí 1080 – 1350 mg/kg (trachyt, čedič). Naopak nejnižší obsahy mají půdy na lehkých mechanických sedimentech a křídových slínech. Obsah manganu v půdách ČR činí průměrně 710 mg/kg (TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

### 3.4 Vanad

Vanad se přirozeně vyskytuje v zemské kůře, jeho obsah činí 136 mg/kg, tj. 0,0136 % a je pátým nejrozšířenějším prvkem po Fe, Ti, Mn a Zr. (GREENWOOD a EARNSHAW, 1993). Do životního prostředí vstupuje ve znečištěném ovzduší při těžbě, spalování fosilních paliv a odpadů a ze zemědělství (ROSS et al., 2007).

Geochemické chování vanadu je závislé na jeho oxidačním stupni (II+, III+, IV+, V+) a na pH půdy. U vanadu je známo, že v půdě tvoří různé kationové  $VO^{2+}$  a aniontové  $VO^{3-}$  komplexy, kde izomorfne zastupuje Fe, Ti a Al v krystalové struktuře (ROSS et al., 2007).

Vanad patří mezi prvky, které jsou obsaženy v základním magmatu. Magmatické horniny obsahují přibližně 170 – 200 mg V/kg. Nejvyšší obsahy jsou v bazických horninách (čediče, gabro - 92 %), nižší pak v ultrabazických (< 1 %), neutrálních (8 %) až kyselých horninách (8 %). Co se týká sedimentů, nejvyšší obsahy jsou ve fosfátech a břidlicích (TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

V ČR představuje vanad průměrný obsah v půdě 96 mg/kg. Nejvyšší koncentrace byly zaznamenány v půdách na bazických vyvěřelinách (až 260 mg/kg) a nejnižší na

kyselých vyvěřelinách a lehkých sedimentech (10 – 30 mg/kg), (TREBICHA VSKÝ et al., 1998). Podle vyhlášky MŽP ČR (č. 12/1994 Sb.) jsou maximálně přípustné obsahy stanoveny na 20 ppm pro lehké půdy a 50 ppm pro ostatní půdy (ve výluhu 2M HNO<sub>3</sub>). Jako celkový povolený obsah byly určeny koncentrace 150, resp. 220 ppm (NĚMEČEK et al., 2010).

### 3.5 Zinek

Tento prvek je v zemské kůře zastoupen obsahem průměrně 76 mg/kg. Zinek se přirozeně vyskytuje v horninách, půdách, rostlinách a zvířatech, je to esenciální stopový prvek. Do životního prostředí vstupuje v atmosférické depozici od těžby, zpracování neželezných kovů, spalování uhlí a dalších fosilních paliv a při aplikaci čistírenských kalů na půdu. Ionty zinku jsou sorbovány na jílových minerálech, jejich mobilita a biologická dostupnost se zvyšuje se zvyšování kyselosti půd (ROSS et al., 2007).

V přirozeném prostředí je obsažen v časté a pohyblivé formě Zn<sup>2+</sup>. Dle rozpustnosti rozlišujeme různé formy: vodorozpustný, výměnný (obsažen v půdním roztoku a organických koloidech), vázaný (v komplexech a organické hmotě) a nerozpustný reziduální zinek. Rozpustnost stoupá s poklesem pH. V kyselém půdním prostředí tedy tvoří rozpustné organické komplexy, často tvoří rozpustné cheláty s fulvokyselinami, které jsou získány z půdní organické hmoty. Pohyblivý zinek je sorbován jílovými minerály, oxidy Fe a Mn pouze za předpokladu, že roztok není příliš kyselý (RACLAVSKÝ et al., 2009; TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

Koncentrace zinku v magmatických horninách roste od kyselých vyvěřelin k bazickým horninám. Sedimenty mají oproti metamorfovaným horninám vyšší obsah uvolnitelného Zn. Průměrný obsah zinku v půdách ČR (uvolnitelný obsah) činí 7,5 mg/kg. Kontaminace půd zinkem je častá v půdách městských aglomerací nebo poblíž hald (TREBICHA VSKÝ et al., 1998). Podle vyhlášky MŽP ČR (č. 12/1994 Sb.) jsou maximálně přípustné obsahy koncentrace 50 ppm pro lehké půdy a 100 ppm pro ostatní půdy (ve výluhu 2M HNO<sub>3</sub>) a jako celkový obsah bylo určeno 130, resp. 200 ppm (NĚMEČEK et al., 2010).

### 3.6 Olovo

V zemské kůře jeho obsah činí přibližně 13 mg/kg. Pro olovo existuje mnoho antropogenních zdrojů: spalování uhlí, spalování odpadů, metalurgický průmysl, těžební průmysl a významným zdrojem je stále doprava. Kontaminace půdy olovem emisemi z motorových vozidel dosahuje maximálně do 30 m od silnice (ROSS et al., 2007).

Olovo se v půdě vyskytuje ve 3 formách: Pb<sub>0</sub>, Pb<sup>2+</sup> a Pb<sup>4+</sup>. Prvek, který je často doprovázen zinkem, se v přírodě vyskytuje zejména ve formě olovnatých sloučenin. Nejčastějšími sloučeninami jsou PbS, PbO, PbSO<sub>4</sub>, PbBr<sub>2</sub>. V kyselých půdách se



vyskytuje ve formě  $Pb^{2+}$  nebo  $PbOH^+$ . V iontové formě je olovo adsorbováno na přirozeně se vyskytující oxidy železa, manganu či na jílové minerály. Taktéž může tvořit komplexy s huminovými látkami. Olovo a jeho sloučeniny mají tendenci se akumulovat v půdě v důsledku jejich nízké rozpustnosti a pomalému mikrobiálnímu rozkladu, patří k nejméně pohyblivým prvkům v půdě. Nejvyšší koncentrace jsou ve svrchních částech (3 – 5 cm) a do nižších vrstev se většinou nedostává. Nejdelší doba setrvání olova je v lesních ekosystémech, zejména smrko-jedlových společenstvech a podíl stoupá s vyšší nadmořskou výškou (TREBICHA VSKÝ et al., 1998; RACLAVSKÝ et al., 2009).

Průměrný obsah olova v půdách ČR je 40,5 mg/kg (limit – 65 mg/kg). Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v půdách na ortorulách, rulách a granitech. Kontaminace půd olovem je častá zejména v půdách městských aglomerací a okolo dálnic (až 3000 mg/kg), (TREBICHA VSKÝ et al., 1998). Podle vyhlášky MŽP ČR (č. 12/1994 Sb.) jsou maximálně přípustné obsahy koncentrace 50 ppm pro lehké půdy a 70 ppm pro ostatní půdy (ve výluhu 2M  $HNO_3$ ) a jako celkový obsah bylo určeno 100, resp. 140 ppm (NĚMEČEK et al., 2010).

### 3.7 Arsen

Průměrný obsah arsenu v zemské kůře činí 2 mg/kg. Přirozeně se vyskytuje v horninách, půdách, rostlinách a zvířatech (není nezbytný). Do životního prostředí se dostává při zvětrávání, při spalování fosilních paliv (kyselá dešť), při spalování odpadů (ROSS et al., 2007; TREBICHA VSKÝ et al., 1998).

Arsen se v půdě vyskytuje ve formě sloučenin, zejména arsenitanů nebo arseničnanů, které jsou hlavně v kyselém prostředí málo rozpustné. V závislosti na pH a rozpustnosti tvoří různě toxické sloučeniny. Podle oxidačních podmínek a při nízkém pH převládá forma arseničnanů. Silně tvoří sloučeniny s oxidy a hydroxidy železa, hliníku a vápníku, zejména s arseničnany vytváří nerozpustné komplexy. Dále je silně vázán na organickou hmotu či jílové minerály. Migrace arsenu závisí na složení půd, jejím pH a vlhkosti prostředí. Obecně lze říct, že nižší obsahy As jsou v půdách eluviálních a vyšší v iluviálních. Kumulace arsenu je zřejmá zejména v povrchových vrstvách půdy (TREBICHA VSKÝ et al., 1998; RACLAVSKÝ et al., 2009).

Průměrný obsah arsenu v půdách ČR je 7 mg/kg. Nejvyšší koncentrace byly zaznamenány v hnědých půdách na kyselých vyvěřelinách (až 18 mg/kg). Naopak nízké obsahy ukázaly půdy pararulách, granulitech a svorech. Obsah rozpustného As je vysoký v suchých půdách, kde se koncentrují nepohyblivé formy, naopak nízké obsahy jsou v půdách písčitých, kde příčinou ztráty As v půdě je jeho vyplavování (TREBICHA VSKÝ et al., 1998). Podle vyhlášky MŽP ČR (č. 12/1994 Sb.) jsou maximálně přípustné obsahy stanoveny na 4,5 ppm (ve výluhu 2M  $HNO_3$ ) a jako celkový obsah bylo určeno 30 ppm (NĚMEČEK et al., 2010).

## 3.8 Ostatní sledované prvky

### 3.8.1 Titan

Je to velmi rozšířený prvek. Jeho obsah v zemské kůře činí 0,63 %, tj. 6320 ppm. V mnoha horninách se vyskytuje v podobě křemičitanů a oxidů (GREENWOOD a EARNSHAW, 1993). Titan vstupuje do životního prostředí přirozeným zvětráváním minerálů, jako jsou rutil (anatasy) -  $\text{TiO}_2$ , ilmenit -  $\text{FeTiO}_3$  a jako součást oxidů. Ti – minerály jsou považovány za nejstabilnější minerály v půdním prostředí, jsou špatně rozpustné a setrvávají v půdě po dlouho dobu. Titan vykazuje nízkou migrační schopnost a tím i riziko pro životní prostředí je velmi nízké (ROSS et al., 2007).

### 3.8.2 Železo

Výskyt tohoto prvku v horninách zemské kůry je 62 000 ppm, tj. 6,2 %. Železo je rozšířeno v podobě oxidů a uhličitánů, např. hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , siderit  $\text{FeCO}_3$ , či běžně vyskytující se pyrit  $\text{FeS}_2$  (GREENWOOD a EARNSHAW, 1993). Ačkoli se železo neřadí mezi těžké kovy, výrazně ovlivňuje chování mikroprvků, jejich rozpustnost a přístup do rostlin. V půdě se účastní mnoha reakcí. Ve formě oxidů působí jako sorbent některých těžkých kovů (Co, Cu, Zn, apod.). V půdě se vyskytuje ve formě oxidů nebo hydratovaných oxidů (RACLAVSKÝ et al., 2009).

Jednotlivé koncentrace rizikových prvků v zemské kůře a v půdách jsou uvedeny v následujících tabulkách č. 3 a č. 4.

Prvek	Klarkova hodnota (ppm)	Přirozené pozadí v půdách		
		lehké	střední	těžké
Cr	330	<80	81-120	121-150
Cu	100	<20	21-30	31-75
Mn	800	<550	551-850	851-2000
V	160	<80	81-120	121-200
Zn	40	<50	51-80	81-150
Pb	20	<30	31-45	46-75
As	x	<5	6-15	15-30

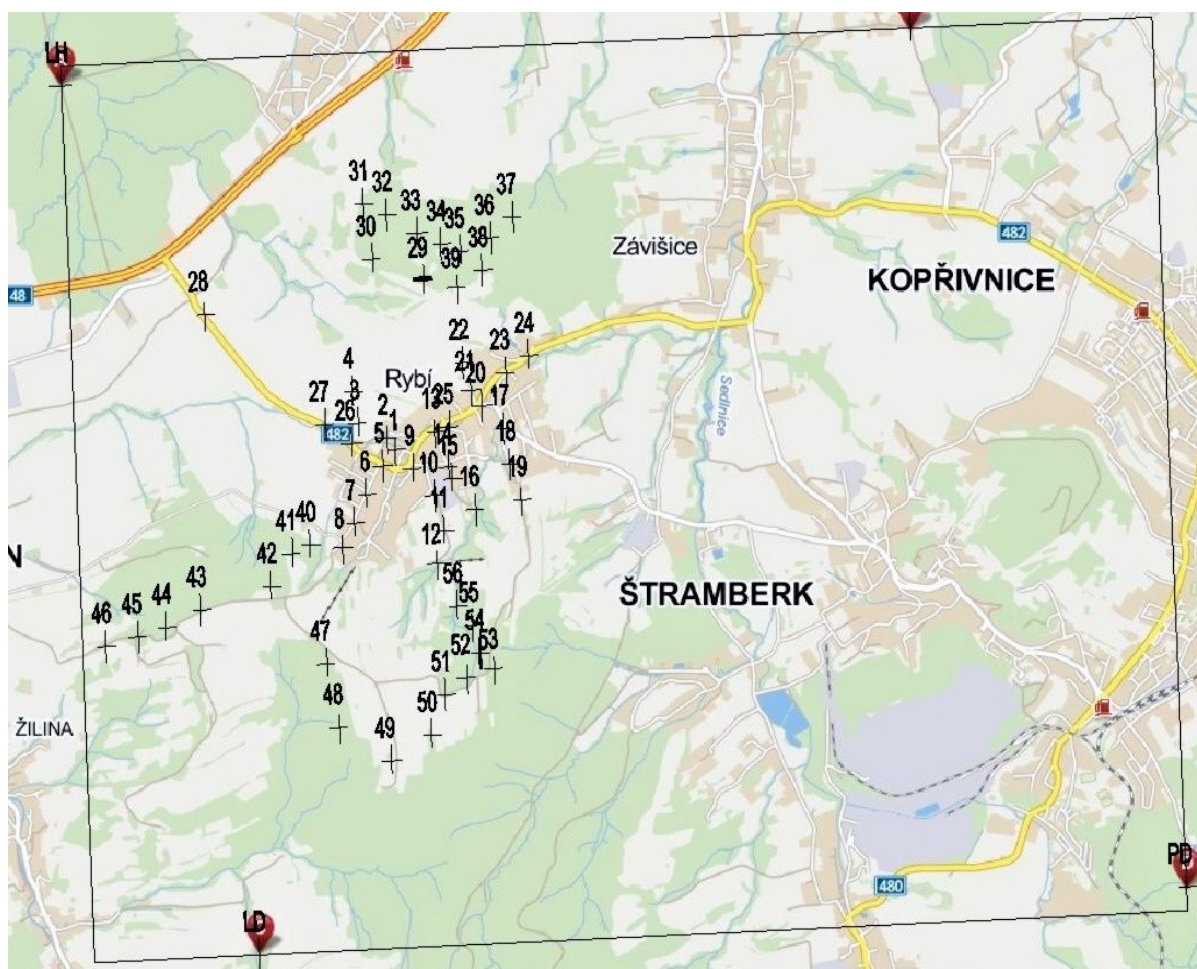
Tabulka 3: Klarkové obsahy prvků (ppm) (BOUŠKA et al., 1980), Přirozené pozadí v půdách (mg/kg) (TREBICHAŤSKÝ et al., 1998)

Kov	Průměr	Max. obsah	Kov	Průměr	Max. obsah
As	7	18,4	Mn	710	2220
Ba	600	7820	Pb	40,5	93
Bi	0,2	1,5	Sb	1,3	4,8
Co	14	37	Sr	150	780
Cr	100	900	V	96	280
Cu	26	75	Zn	82	244

Tabulka 4: Průměrné a maximální obsahy škodlivin v půdách ČR v mg/kg (TREBICHAŤSKÝ et al., 1998)

## 4 METODIKA A STANOVENÍ A ODBĚRU VZORKŮ

Metodika stanovení hodnot pozadí je provedena podle České technické normy, která je českou verzí evropské normy EN ISO 19258:2011. Stanovuje metody na určení obsahu pozadí anorganických a organických látek, které se skládají z části pedo-geochemické a z části antropogenní a jejich poměr se mění v závislosti vlastností půdy a vnějších faktorů. Pedo-geochemický obsah látky v půdě je takový obsah, který se zde vyskytuje díky přirozeným geologickým a pedologickým procesům bez příčiny lidského zásahu. V praxi je často obtížné tyto dvě části odlišit. Obsahy a hodnoty pozadí se mění s hloubkou půdy, podle využití půdy, jejího typu a kontaminace (ČSN EN ISO 19258, 2012)



Obrázek 3: Vzorkovací síť vymezeného území (zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

### 4.1 Odběr půdního vzorku

Vymezené vzorkovací území bylo vybráno podle systematického přístupu, to znamená, že místa odběru vzorku byla lokalizována za použití sítě a jednotlivé intervaly mezi body byly cca 200 m. Počet odebraných vzorků byl 56, z toho 28 vzorků lesních půd a 28 vzorků půd z intravilánu obce. Na obrázku č. 3 jsou jednotlivé vzorky zaznamenány

do mapy. Pro konstrukci mapy jsem využila naměřené souřadnice GPS jednotlivých vzorků. Vzorky půdy jsem odebrala v období září - říjen v r. 2012 za použití půdní sondy.

**V intravilánu obce** jsem vzorky (č. 1 – č. 28) odebrala z horizontu nadložního humusu (Of -> drt' + Oh -> měl), max. do hloubky 20 cm. Jednalo se o nezastavěnou plochu s trvalým travním porostem, nejčastěji v blízkosti silniční komunikace.

**U vzorků lesních půd** (č. 29 – č. 56) byla odstraněna tzv. nová opadanka -> Oln (čerstvý rostlinný opad, větvičky, apod.) a poté jsem odebrala samotný vzorek max. do hloubky 25 cm (Olv -> změněná opadanka + Of -> drt' + Oh -> měl).

Následně jsem vzorky vložila do mikrotenového sáčku, na který jsem vyznačila identifikační údaje (číslo, jméno odbíratele, datum, označení místa odběru, hloubka odběru, typ půdy) a uzavřela. Veškeré vzorky půdy dosahovaly hmotnosti 1 – 1,5 kg.

*Z důvodu podrobnějšího zkoumání jsem provedla opakovaný odběr u vzorků č. 1, 9, 17 a 28, což jsou vzorky v intravilánu obce. Odběr byl proveden v měsíci březen v r. 2013, odebírala jsem do hloubky horizontu B až C (podpovrchové horizonty), 40 – 50 cm, za pomoci půdní sondy.*

#### **4.1.1 Uchování a úprava vzorku**

Podle ČSN EN ISO 19258, 2012 jsem vzorek uchovala tak, aby nedocházelo k jeho chemickým změnám, to znamená, že jsem ho uložila do místnosti s nízkou vlhkostí, chráněnou před světlem a značnými výkyvy teplot.

V laboratoři jsem vzorek vysušila v sušárně při teplotě do 40 °C, ručně podrtila a následně jsem provedla homogenizaci, přesela přes síto s průměrem ok 2 mm. Teprve poté mohla být provedena řada zkoušek podle účelu odběru vzorku (POPL a FAHHRICH, 1992).

## 5 PARAMETRY PRO HODNOCENÍ KVALITY PŮD

V rámci ČR byl proveden geochemický výzkum půd, který slouží pro hodnocení kontaminace zemědělských půd. Výsledkem tohoto průzkumu byly pozadíové hodnoty, které jsou zobrazeny v následující tabulce č. 5.

	Hg	As	Cd	Be	Pb	Zn	Cu	V	Mn	Co	Cr	Ni
Písky	0.14	10.1	0.14	1.67	28.4	47.0	12.6	43.6	443	6.4	30.4	13.2
Pískovec	<b>0.17</b>	<b>6.1</b>	<b>0.16</b>	<b>1.96</b>	<b>35.7</b>	<b>60.9</b>	<b>14.4</b>	<b>51.0</b>	<b>566</b>	<b>8.9</b>	<b>40.1</b>	<b>18.4</b>
Prachovce	0.19	7.4	0.16	1.40	39.8	65.5	16.1	50.9	555	9.4	60.7	18.3
Spraše	0.12	13.9	0.22	2.36	33.9	61.9	20.4	74.9	660	11.7	61.0	25.9
Pol. Hlíny	0.14	13.9	0.16	2.28	36.2	77.8	21.1	97.4	675	14.0	61.9	23.9
S. břidlice	0.17	16.8	0.19	2.60	34.1	85.0	21.5	86.3	569	14.4	65.1	24.1
Slíny, jíly	0.14	18.2	0.17	3.03	36.5	81.1	25.6	90.7	631	13.6	65.1	30.1
Nivní půdy 1	0.18	13.5	0.25	2.47	40.5	103	24.7	67.5	625	10.0	58.1	22.1
Nivní půdy 2	1.03	16.9	1.51	3.15	79.6	280	62.9	69.0	103	15.1	101	35.6
<b>Svahoviny</b>												
Kyselé žuly	0.16	15.6	0.17	2.94	48.3	72.9	13.4	32.5	554	8.0	32.1	15.8
Rul a svorů	0.13	16.0	0.19	3.10	51.5	86.7	21.5	73.3	614	9.8	55.7	21.1
Ultrabazik	<b>0.17</b>	<b>22.1</b>	<b>0.17</b>	<b>2.76</b>	<b>40.8</b>	<b>103</b>	<b>46.7</b>	<b>156</b>	<b>906</b>	<b>28.1</b>	<b>149</b>	<b>59.5</b>
Bazik	<b>0.16</b>	<b>18.2</b>	<b>0.19</b>	<b>2.08</b>	<b>31.4</b>	<b>113</b>	<b>50.5</b>	<b>166</b>	<b>1136</b>	<b>40.1</b>	<b>236</b>	<b>81.0</b>
<b>Průměr</b>	0.14	14.1	0.17	2.66	35.9	75.4	20.4	71.7	569	10.5	64.0	22.0

Tabulka 5: Hodnoty pozadí rizikových prvků (celkové obsahy) pro jednotlivé půdně-litologické skupiny v mg/kg (Podlešáková et al. 1997) v (RACLAVSKÝ et al., 2009)

Kritéria maximálně přípustných hodnot rizikových prvků v půdách v rámci České republiky jsou uvedeny ve vyhlášce 13/1994 Sb., která se vztahuje k zákonům na ochranu zemědělských půd. Povolené obsahy jsou uvedeny níže v tabulce č. 6 a tyto limity jsou určeny pro půdy, které jsou využívány pro zemědělské účely.

Kov	Výluh lučavkou		Výluh 2M HNO <sub>3</sub>	
	Lehké půdy	Ostatní půdy	Lehké půdy	Ostatní půdy
As	30	30	4,5	4,5
Be	7	7	2	2
Cd	0,4	1,0	0,4	1,0
Co	25	50	10	25
Cr	100	200	40	40
Cu	60	100	30	50
Hg	0,6	0,8	-	-
Ni	60	80	15	25
Pb	100	140	50	70
V	150	220	20	50
Zn	130	200	50	100

Tabulka 6: Maximálně přípustné obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách ČR, v mg/kg (NĚMEČEK et al., 2010)

Následující tabulka č. 7 uvádí koncentrace těžkých kovů v lesních půdách Beskyd, kterou využijí pro srovnání lesních půd.

Eliška Hrynyšínová: Výskyt těžkých kovů v půdách v oblasti Rybí u Nového Jičína

	V	Cr	Mn	Fe	Zn	As	Pb	Cu	Ca	Ti	Rb	Sr	Zr	Co	Ba	Bi
	[mg/kg]															
Počet hodnot	1173	1173	1173	1173	1173	1173	1173	1173	1173	1173	1173	1173	1173	241	22	282
Střední hodnota	48,46	80,49	464,11	27857,96	177,151	29,83	225,55	19,39	2358,71	2425,41	38,71	48,49	90,70	216,39	466,24	7,33
Median	44,80	74,77	326,74	23217,62	151,90	28,67	210,69	15,99	1607,96	2241,03	35,96	44,12	78,89	189,31	396,09	6,88
Minimum	6,50	15,50	45,77	7158,83	41,69	3,50	36,69	5,50	132,50	594,59	8,79	19,63	29,22	89,53	291,94	4,53
Maximum	218,59	323,24	6472,64	140850,7	713,61	107,66	841,21	105,8	103015,8	14226,35	118,81	399,31	368,73	608,58	1085,21	19,68
Průměrná směr. Od.	23,63	31,85	495,03	16351,18	92,13	11,74	100,94	15,44	4538,28	1184,59	14,59	22,36	41,63	95,89	168,35	1,89
Variační koeficient	48,75	39,57	106,66	59,27	51,88	39,37	44,75	79,55	192,41	48,84	37,70	46,10	45,90	44,31	36,11	25,73

Tabulka 7: Koncentrace chemických prvků v lesních půdách Beskyd (MATYSEK et al., 2008)

## 6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Výsledky pro experimentální část byly naměřeny v laboratoři Institutu geologického inženýrství, VŠB – TU Ostrava podle platných ČSN nebo metodiky US EPA.

### 6.1 Stanovení pH

Analýzu pH jsem provedla podle ČSN EN ISO 10390 (836221), *Kvalita půdy – Stanovení pH*, (březen 2011). U každého vzorku jsem provedla tři měření – opakování a následně vypočítala jednu hodnotu pomocí aritmetického průměru.

Půdy venkovských oblastí			Lesní půdy		
Vzorek č.	H <sub>2</sub> O	KCl	Vzorek č.	H <sub>2</sub> O	KCl
1.	7,49	7,09	29.	5,12	4,39
2.	5,29	4,40	30.	5,64	4,89
3.	5,39	4,69	31.	7,55	7,35
4.	6,65	5,95	32.	7,57	7,28
5.	7,26	6,84	33.	6,31	5,82
6.	7,34	6,78	34.	7,11	6,82
7.	6,14	5,29	35.	4,06	3,40
8.	7,33	6,78	36.	4,66	4,06
9.	7,83	7,60	37.	4,23	3,52
10.	7,87	7,38	38.	4,86	4,09
11.	8,48	7,89	39.	5,12	4,35
12.	6,59	5,78	40.	5,51	4,84
13.	7,87	7,48	41.	4,47	3,71
14.	5,03	4,51	42.	4,92	4,08
15.	7,80	7,36	43.	6,26	5,40
16.	6,75	5,75	44.	6,13	5,32
17.	7,29	6,79	45.	5,26	4,20
18.	8,28	7,58	46.	6,19	5,45
19.	6,69	5,76	47.	5,22	4,44
20.	7,51	7,11	48.	4,71	4,04
21.	7,99	7,55	49.	4,05	3,39
22.	5,61	4,72	50.	5,48	4,85
23.	9,07	6,91	51.	3,94	3,32
24.	7,95	7,20	52.	3,91	3,57
25.	6,25	5,37	53.	4,28	3,77
26.	7,59	7,14	54.	4,19	3,84
27.	7,29	6,78	55.	4,52	3,79
28.	8,61	7,48	56.	4,73	3,81
Ar. průměr	7,19	6,50	Ar. průměr	5,21	4,56
St. odchylka	1,03	1,06	St. odchylka	1,05	1,13
Medián	7,34	6,82	Medián	5,02	4,15

Tabulka 8: Hodnoty pH vzorků půd

#### 6.1.1 Zhodnocení výsledků pH

Jak se dalo předpokládat, půdy lesní vykazují větší kyselost než půdy v intravilánu obce. Velice nízké hodnoty lze vidět u lesních vzorků 49. – 56., což jsou půdy z Holiváku, kde lze předpokládat vliv humínových kyselin a humátů. Naopak vysoké hodnoty lze vidět

na dvou stanovištích Libhošťské hůrky, kde je hodnota 7,55 (vzorek č. 31) a 7,57 (vzorek č. 32). Příčinou může být vápencové podloží, které se zde nachází.

Na základě tabulky č. 9 lze intravilární půdy hodnotit jako alkalické (medián = 7,34) a lesní půdy jako kyselé (medián = 5,02).

Rozpětí pH KCl	Rozpětí pH H <sub>2</sub> O	označení
<3	<3,5	extrémně kyselé
3 – 4	3,5 – 4,5	velmi silně kyselé
4 – 5	4,5 – 5,5	silně kyselé
5 – 6	5,5 – 6,5	kyselé
6 – 7,1	6,5 – 7,2	slabě kyselé – neutrální
>7,1	>7,2	alkalická

Tabulka 9: Kritéria pro hodnocení půdní reakce pro lesní půdy (zdroj: [www.mzp.cz](http://www.mzp.cz))

*Půdní pH je jednou ze základních vlastností, která hodnotí stav půdy. Významně ovlivňuje biopřístupnost a mobilita živin či rizikových prvků. V lesních půdách je hodnota jedním ze základních ukazatelů, avšak právě pro tyto půdy neexistují dostupné kategorie pH dle legislativních předpisů, používají se pouze kritéria z metodických postupů a publikací. Tabulka č. 9 uvádí kritéria pro hodnocení půdní reakce pro lesní půdy (mzp[online], 2012).*

## 6.2 Stanovení rizikových prvků v půdách

Rizikové prvky v půdách lze určit pomocí metody rentgenové fluorescenční analýzy (RFA). Tato metoda je prováděna pomocí přenosného spektrometru (přenosný RTG fluorescenční spektrometr), který umožňuje nedestruktivní stanovení 26 prvků v půdách. Analýzy jsem po přípravě vzorku prováděla metodou, která optimalizuje podmínky pro stanovení ex situ a in situ v laboratoři (U.S. EPA method 6200:2005) na (irz [online], 2008).

Výhodou této techniky je rychlost, vysoká přesnost a citlivost. Schopnost přístroje měřit stopové prvky je založena na ionizaci vnitřních částí elektronů v atomech vzorků pomocí X-ray fotonů. Přístroj se skládá z X-ray trubice, měřícího zařízení a X-ray spektrometru, který se používá pro detekci a kvantifikaci vybrané fluorescenční X-ray linky. Příprava vzorku je od jiných analytických metod odlišná tím, že vzorek není třeba rozpustit, ale je ukládán do zařízení ve formě prášku (MARSHALL a FAIRBRIDGE, 1999).

### 6.2.1 Příprava vzorku pro stanovení rizikových prvků

Vzorek jsem vysušila v sušárně při teplotě do 40 °C, ručně podrtila a nasítovala na zrnitostní třídu pod 2 mm. Tento připravený vzorek byl pomlet ve vibračním mlýnku a byl nasypán do prstenců, kde spodní část plochy byla přikryta Millarovou folií.



### 6.2.2 Výsledky měření rizikových prvků (RTG fluorescence)

Tabulka č. 10 a č. 14 zobrazuje výsledky měření prvků u jednotlivých vzorků půd pomocí rentgenové (RTG) fluorescence. Půdy 1 – 28 jsou v intravilánu obce a půdy 29 – 56 jsou půdy lesní.

Vzorky s označením LOD (below detection limit) znamenají, že naměřená hodnota byla pod mezí detekce.

## 6.3 Stanovení hodnot geochemického pozadí pro půdy v oblasti obce

**Shlukovací analýza** (CLU – Cluster analysis) je metoda vícerozměrné statistické analýzy a umožňuje odhalit skryté závislosti v datech. Její podstatou je seskupování objektů do shluků na základě jejich podobnosti nebo rozdílnosti (Schwalbová, 2010; MELOUN a MILITKÝ, 2006). Velkou výhodou je zobrazení vícerozměrného souboru dat do  $n$ -rozměrného prostoru ( $n$  = počet sledovaných proměnných). Tato metoda nevytváří výsledky, poskytuje pouze hypotézy o přítomnosti podobných skupin uvnitř objektu (Lukasová a Šarmanová, 1985).

Výstupem této metody je tzv. **dendrogram** (zobrazen na obrázku č. 20 a č. 21), který ukazuje hierarchické slučování objektů do shluků. Existuje mnoho výpočetních postupů. V mém případě byla použita metoda Ward-Wishart s eukleidovskou metrikou (Navrátilová et al., 2004).

Tato metoda byla použita za účelem vyloučit ze souboru lesních půd a intravilárních půd ty vzorky, kde je v podloží těšinitová asociace. Metoda shlukovací analýzy se jevila ze statistických metod jako nejvhodnější.

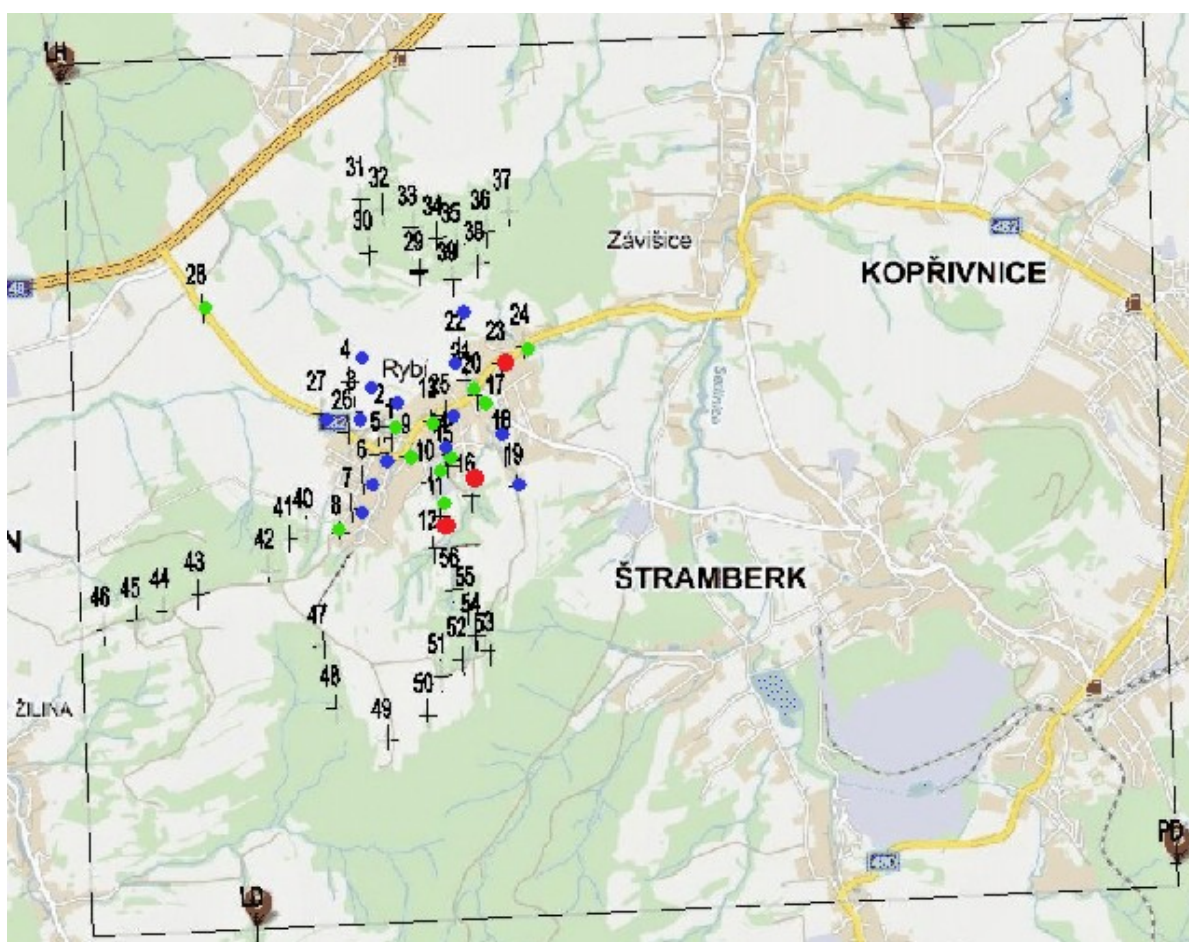
Ze souboru dat pro výpočet geochemického pozadí pro půdy v oblasti obce bez ovlivnění těšinity, byly nejprve odstraněny vzorky půd, které byly pomocí shlukovací analýzy identifikovány jako významně ovlivněné těšinity (červený shluk). Tyto vzorky by mohly výrazně zkreslit konečné stanovení hodnoty pozadí.

Následně byl za účelem identifikace extrémních hodnot v souboru dat proveden Dixonův test. Testováním bylo zjištěno, že se v souboru nachází 7 extrémně odlehých hodnot (tabulka č. 10). Tyto hodnoty byly ze souboru dat taktéž vyřazeny.

Poté byly za účelem identifikace rozdělení dat pro jednotlivé sledované parametry sestaveny krabicové grafy a proveden Shapiro-Wilkův test normality. Diagnostikou krabicových grafů bylo zjištěno, že všechny soubory sledovaných parametrů vykazují normální rozdělení. Normální rozdělení bylo potvrzeno testy normality. Na základě splnění předpokladu normality byl pro výpočet geochemického pozadí zvolen aritmetický průměr. Pro výpočet geochemického pozadí pro intravilární půdy na těšínitech byl vzhledem k malému počtu hodnot ( $n = 3$ ; pro Co a Bi  $n = 2$ ) rovněž zvolen aritmetický průměr.

Analýza shluku rozdělila soubor dat na 3 shluky.

- **shluk 1 (zelený)** - Vzorky mají vysoký obsah Ca, Zn, Pb a nízký obsah Sr.
- **shluk 2 (modrý)** - Vzorky mají vyšší obsah pouze Zr, jinak nízké či průměrné obsahy všech ostatních sledovaných prvků.
- **shluk 3 (červený)** - Vzorky mají vysoký obsah Ti, V, Cr, Mn, Fe a nízký obsah Rb a Pb.



Obrázek 4: Rozdělení vzorků půd v oblasti obce v rámci shlukovací analýzy (zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

Eliška Hrynyšínová: Výskyt těžkých kovů v půdách v oblasti Rybí u Nového Jičína

vzorek	vzorek	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Půdy 1	1	31045,17	5556,13	103,71	151,76	900,75	40445,15	<LOD	47,96	254,72	17,11	66,6	180,64	167,75	88,41	<LOD
Půdy 2	2	7227,21	5377,46	87,39	130,46	696,79	30795,16	<LOD	<LOD	92,41	11,09	80,74	135,72	268,58	51,39	9,05
Půdy 3	3	5765,38	3575,9	78,21	98,83	406,56	24740,33	<LOD	<LOD	68,47	15	85,67	153,3	183,52	31,75	6,91
Půdy 4	4	6550,74	3922,73	75,02	84,76	454,9	24276,07	<LOD	<LOD	69,93	11,36	86,35	163,08	159,02	30,88	<LOD
Půdy 5	5	12293,19	5026,58	80,79	119,73	714,7	34309,39	<LOD	36,93	151,03	14,19	69,13	96,71	196,34	30,08	<LOD
Půdy 6	6	9833,17	3464,72	53,85	123,25	987,36	33078,17	154,04	27,21	141,37	8,91	32,39	74,37	125,6	30,63	<LOD
Půdy 7	7	6804,63	5152,47	68,38	130,11	820,13	32468,83	<LOD	41,1	118,16	10,79	82,78	96,98	215,63	42,88	7,22
Půdy 8	8	32125,47	6910,53	85,17	275,61	2540,06	50263,23	<LOD	53,21	176,91	15,35	66,95	206,94	149,82	46,32	<LOD
Půdy 9	9	36038,77	3509,41	63,48	94,97	610,81	29259,34	<LOD	54,95	238,31	11,46	68,34	145,04	138,4	59,85	6,06
Půdy 10	10	36219,53	4891,54	94,46	118,22	687,09	46872,18	<LOD	50,15	166,41	9,53	89,96	144,11	127,57	38,74	8,47
Půdy 11	11	35581,12	4156,99	69,93	115,11	535,53	35637,89	<LOD	29,53	168,49	10,67	90,31	133,41	181,83	34,63	<LOD
Půdy 13	13	28950,03	4847,17	74,38	146,7	742,24	48378,6	<LOD	27,92	226,93	14,99	73,95	152,89	169,97	40,74	<LOD
Půdy 14	14	7083,08	4395,43	88,49	103,73	574,39	36863,02	<LOD	31,94	179,23	20,43	91,07	93,69	171,85	61,71	<LOD
Půdy 15	15	29024,37	3966,21	71,54	114,7	708,09	35557,29	<LOD	41,07	136,95	<LOD	99,08	175,58	116,3	33,93	10,94
Půdy 17	17	13978,96	4012,26	75,44	141,88	1011,18	33473,12	<LOD	30,46	370,34	12,61	97,01	123,84	135,14	48,07	6,16
Půdy 18	18	18851,6	4844,54	77,53	125,97	920,74	35189,44	209,89	24,69	95,36	16,88	89,64	121,88	268,26	27,34	8,7
Půdy 19	19	6560,59	4327,41	90,46	94,89	707,55	28224,11	<LOD	36,54	115,49	12,12	59,7	82,85	168,99	37,11	8,85
Půdy 20	20	18861,44	5043,49	98,11	145,81	961,29	34805,11	<LOD	27,51	132,43	10,76	72,35	190,04	162,86	37,46	<LOD
Půdy 21	21	21015,33	6516,65	93,13	151,61	817,63	43903,72	190,11	<LOD	148,89	14,07	88,39	172,88	205,87	30,46	7,75
Půdy 22	22	7867,32	4600,02	77,87	111,36	517,22	26720,32	169,48	<LOD	76,11	15,55	86,39	133,68	221,2	27,32	<LOD
Půdy 24	24	15817,12	6340,6	94,19	166,07	1271,73	39851,14	<LOD	31,5	164,03	10,57	73,8	148,68	184,03	31,24	6,35
Půdy 25	25	4911	4595,42	68,92	131,81	1066,83	34395,05	222,58	<LOD	84,27	12,04	72,5	93,92	359,33	50,35	10,73
Půdy 26	26	17825,61	4399,44	90,45	131,59	472,88	30564,25	184,37	21,54	121,49	8,57	89,4	124,5	221,99	40,59	7,91
Půdy 27	27	11071,69	6023,77	68,98	131,32	797,72	37158,56	169,8	20,26	115,22	<LOD	90,25	153,13	204,03	45,06	6,07
Půdy 28	28	17159,75	4170,74	98,5	124,13	1153,77	31102,96	158,24	41,44	147,3	9,93	86,33	177,67	149,44	100,92	8,23

Tabulka 10: Výsledky RTG-fluorescencní analýza pro soubor intravilárních půd (mg/kg sušiny), extrémní hodnoty na základě Dixonova testu, označeny červeně.

Eliška Hrynyšínová: Výskyt těžkých kovů v půdách v oblasti Rybí u Nového Jičína

	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Průměr	17538,49	4785,10	81,14	124,53	772,41	35133,3	182,31	35,57	141,24	12,78	81,53	139,02	178,92	39,50	7,96
Medián	15817,12	4600,02	78,21	125,05	728,47	34395,05	177,09	31,94	139,16	12,04	86	144,11	170,91	37,46	7,91
Střed.od.	10797,29	932,97	12,51	20,34	228,44	6853,65	24,34	10,50	50,72	3,00	10,73	35,38	40,87	9,87	1,56
Minimum	4911	3464,72	53,85	84,76	406,56	24276,07	154,04	20,26	68,47	8,57	59,7	74,37	116,3	27,32	6,06
Maximum	36219,53	6910,53	103,71	166,07	1271,73	50263,23	222,58	54,95	254,72	20,43	99,08	206,94	268,58	61,71	10,94
Práh g. a.	39133,07	6651,05	106,15	165,21	1229,30	48840,6	230,99	56,58	242,68	18,78	103,00	209,78	260,65	59,25	11,08

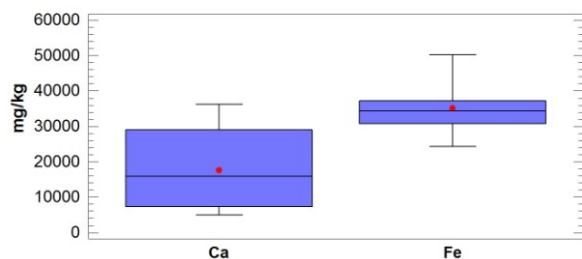
Tabulka 11: Statistické parametry a geochemické pozadí půd v oblasti obce bez těšínitové asociace (v tabulce č. 10 označeno zeleně a modře)

vzorek	Ca - L	Ti - L	V - L	Cr - L	Mn - L	Fe - L	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Sb	Ba	Pb	Bi
<b>Půdy 12</b>	9264,91	9139,48	99,51	230,58	1389,93	55829,49	219,22	36,69	114,23	7,08	54,42	95,59	205,41	<LOD	556,3	25,28	<LOD
<b>Půdy 16</b>	14959,22	8980,6	144,98	241,83	1624,47	57168,29	<LOD	53,42	112,45	13,07	56,59	140,76	170,95	<LOD	<LOD	27,11	9,51
<b>Půdy 23</b>	21515,99	10240,42	143,23	314,19	1820,8	53162,89	211,42	29,85	136,87	11,89	57,33	116,22	175,57	<LOD	<LOD	31,51	6,05

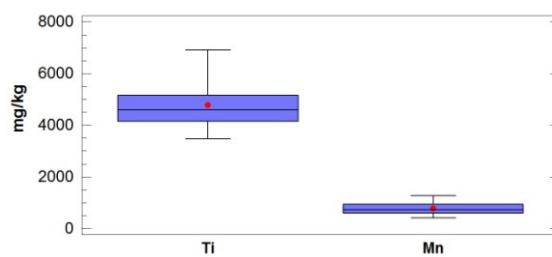
Tabulka 12: Vzorky vyloučeny jako ovlivněny těšínity na základě shlukovací analýzy (mg/kg).

	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Průměr	15246,71	9453,5	129,24	262,2	1611,73	55386,89	215,32	39,99	121,18	10,68	56,11	117,52	183,98	27,97	7,78
Medián	14959,22	9139,48	143,23	241,83	1624,47	55829,49	215,32	36,69	114,23	11,89	56,59	116,22	175,57	27,11	7,78
Střed.od.	6130,60	686,11	25,76	45,37	215,72	2039,05	5,52	12,13	13,61	3,17	1,51	22,61	18,71	3,20	2,45
Minimum	9264,91	8980,6	99,51	230,58	1389,93	53162,89	211,42	29,85	112,45	7,08	54,42	95,59	170,95	25,28	6,05
Maximum	21515,99	10240,42	144,98	314,19	1820,8	57168,29	219,22	53,42	136,87	13,07	57,33	140,76	205,41	31,51	9,51
Práh g. a.	27507,9	10825,71	180,76	352,95	2043,17	59464,99	226,35	64,24	148,41	17,03	59,14	162,75	221,39	34,37	12,67

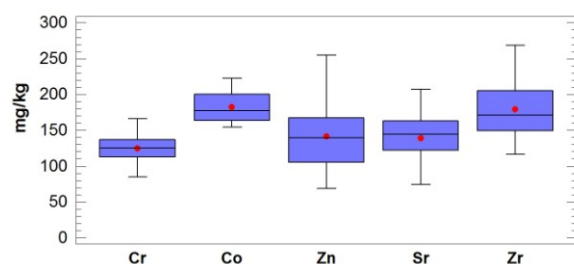
Tabulka 13: Statistické parametry a geochemické pozadí půd v intravilánu oblasti obce s těšínitové asociací (v tabulce č. 12 označeno červeně)



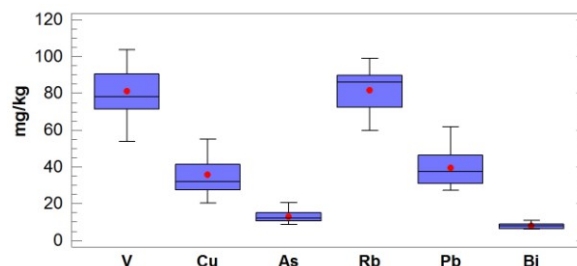
Obrázek 5: Krabicové grafy Ca a Fe v rámci venkovský půd bez ovlivnění těšinitů



Obrázek 6: Krabicové graf Ti a Mn v rámci venkovských půd bez ovlivnění těšinitů.



Obrázek 7: Krabicové grafy Cr, Co, Zn, Sr a Zr v rámci venkovských půd bez ovlivnění těšinitů



Obrázek 8: Krabicové grafy V, Cu, As, Rb, Pb a Bi v rámci venkovských půd bez ovlivnění těšinitů

## 6.4 Stanovení hodnot geochemického pozadí pro lesní půdy

Za účelem stanovení geochemického pozadí pro lesní půdy bez ovlivnění těšinitů a lesní půdy na těšinitách byl zvolen stejný postup jako v případě intravilánních půd.

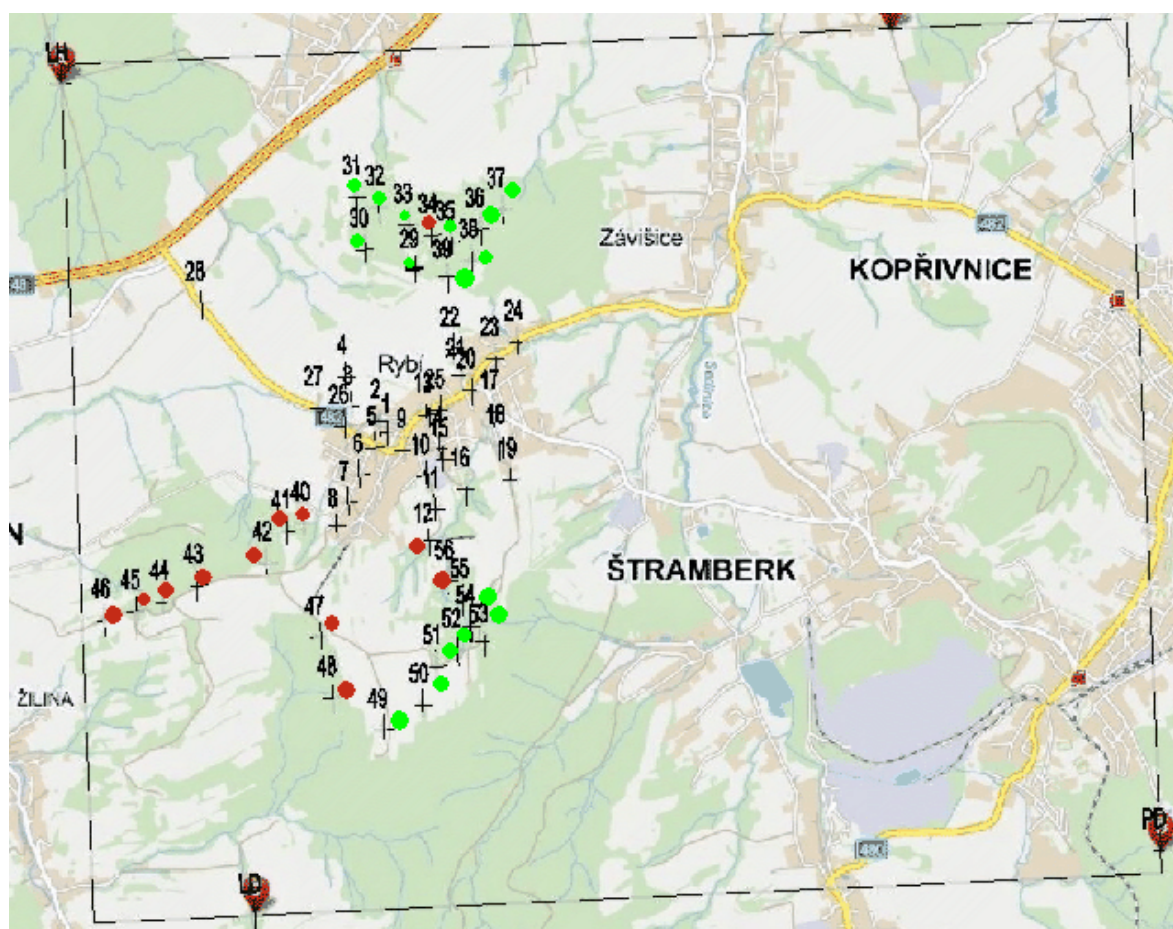
Provedením Dixonova testu bylo identifikováno v souboru hodnot bez ovlivnění těšinitů celkem 12 extrémně odlehlých hodnot (vyznačeno v tabulce č. 14), v souboru hodnot na těšinitách celkem 13 extrémně odlehlých hodnot. Tyto hodnoty byly následně ze souboru dat pro výpočet geochemického pozadí vyřazeny (vyznačeno v tabulce č. 16 červeně).

Diagnostikou krabicových grafů a testy normality bylo prokázáno normální rozdělení téměř u všech sledovaných parametrů. Výjimkou byl u lesních půd bez ovlivnění těšinitů pouze Co ( $n = 2$ ) a u lesních půd na těšinitách Bi ( $n = 2$ ). U těchto parametrů nebylo vzhledem k malému počtu hodnot možné sestavit krabicové grafy. Z výše uvedených důvodů byl pro výpočet geochemického pozadí u všech sledovaných parametrů použit aritmetický průměr.

Analýza shluku ukazuje 2 shluky.

- **první shluk (zelený)** - Nízké hodnoty Ti, V, Cr, Fe, Co a nižší hodnoty Cu, Mn a Zn
- **druhý shluk (červený)** - Vysoké hodnoty Ti, V, Cr, Fe, Co a zvýšené hodnoty Cu, Mn a Zn.





Obrázek 9: Rozdělení vzorků lesních půd podle výsledků shlukovací analýzy

Eliška Hrynyšínová: Výskyt těžkých kovů v půdách v oblasti Rybí u Nového Jičína

vzorek	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Půdy 29	4091,71	3442,11	25,79	88,25	1781,72	13730,5	<LOD	<LOD	62	15,57	58,96	56,25	249,39	92,62	<LOD
Půdy 30	3622,5	3436,66	42,5	87,43	1564,7	14947,97	<LOD	16,38	68,49	11,2	69,96	61,65	230,84	53,24	5,04
Půdy 31	67696,48	2315,07	32,34	51,13	626,71	17202,15	<LOD	19,59	86,71	11,65	69,55	126,63	87,86	29,2	7,76
Půdy 32	73129,02	2045,51	26,47	62,84	1349,11	17197,54	<LOD	30,95	136,85	<LOD	73,09	156,64	79,71	60,22	7,27
Půdy 33	10198,75	3204,41	66,64	72,32	3094,11	15677,41	<LOD	17,6	110,26	7,06	65,58	62,49	177,27	62,76	5,67
Půdy 35	3028,5	2737,74	49,36	84,24	708,82	18759,99	120,94	19,09	103,91	18,67	52,03	46,8	120,4	176,15	<LOD
Půdy 36	4756,51	3131,45	53,68	86,46	863,8	16977,58	<LOD	14,71	84,71	17,6	60,19	52,93	168,94	141,61	<LOD
Půdy 37	2502,67	2174,74	37,37	70,87	286,4	12347,89	<LOD	<LOD	54,52	15,62	47,15	40,59	115,23	90,53	<LOD
Půdy 38	3205,33	3112,56	55,97	61,21	2024,54	15481,32	96,74	18,75	83,31	17,12	63,62	51,26	192	96,95	<LOD
Půdy 39	3525,18	3100,05	61,48	79,15	1496,29	13615,21	<LOD	<LOD	80,27	<LOD	54,9	49,82	207,98	51,31	8,08
Půdy 49	3450,4	6174,01	89,1	151,82	551,39	31448,46	<LOD	29,43	102,57	31,95	38,6	51,2	141,95	119,17	6,83
Půdy 50	3636,13	6059,95	73,53	64,35	1009,09	22620,66	<LOD	<LOD	124,63	14,45	37,25	52,04	138,56	62,83	5,56
Půdy 51	2226,12	3108,73	63,67	113,17	290,65	20441,53	<LOD	20,25	111,09	28,35	34,2	45,37	97,18	182,7	<LOD
Půdy 52	1710,39	3663,98	49,94	108,9	714,68	18867,23	<LOD	<LOD	78,02	14,94	31,95	32,99	110,67	75,25	<LOD
Půdy 53	2201,26	5065,69	79,36	149,02	819,79	29249,88	<LOD	38,91	119,4	26,52	58,8	61,41	134,08	149,65	<LOD
Půdy 54	1673,33	4254,73	49,82	93,71	886,67	20749,91	<LOD	30,15	85,28	19,16	43,59	46,11	132,1	91,24	<LOD

Tabulka 14: Výsledky RTG-fluorescence lesních půd (mg/kg). Extrémní hodnoty na základě Dixonova testu, označeny červeně

	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Průměr	3048,46	3199,53	53,56	89,05	998,29	17044,06	108,84	23,26	93,25	17,85	53,71	50,78	149,01	95,96	6,60
Medián	3205,33	3122,01	51,81	85,35	863,8	17087,56	108,84	19,59	86,00	16,37	56,85	51,23	136,32	90,89	6,83
Střed.od.	933,98	800,70	18,36	29,20	529,89	2989,69	17,11	7,76	23,30	6,89	13,49	8,29	50,74	45,97	1,18
Minimum	1673,33	2045,51	25,79	51,13	286,4	12347,89	96,74	14,71	54,52	7,06	31,95	32,99	79,71	29,2	5,04
Maximum	4756,51	5065,69	89,1	151,82	2024,54	22620,66	120,94	38,91	136,85	31,95	73,09	62,49	249,39	182,7	8,08
Práh g. a.	4916,42	4800,94	90,27	147,45	2058,07	23023,26	143,06	38,78	139,86	31,62	80,60	67,36	250,49	187,91	8,97

Tabulka 15: Statistické parametry a geochemické pozadí lesních půd bez těšinitové asociace (v tabulce č. 14 označeno zeleně)

Eliška Hrynyšínová: Výskyt těžkých kovů v půdách v oblasti Rybí u Nového Jičína

Vzorek	Vzorek	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Půdy 34	34	22187,37	2886,72	75,96	102,35	2019,66	29297,6	149,81	37,87	432,61	20,37	96,73	73,34	82,84	252,18	<LOD
Půdy 40	40	17443,65	11424,52	136,51	427,43	1692,66	59472,34	240,76	28,14	170,55	12,72	51,41	233,96	195,88	40,61	<LOD
Půdy 41	41	4999,43	8606,74	117,84	294,8	1201,67	59015,28	248,5	39,73	171,81	23,08	82,47	85,09	161,39	61,78	8,27
Půdy 42	42	10083,03	15112,32	225,07	348,53	3162,22	76501,13	325,27	27,2	206,09	22,9	47,26	111,79	172,12	84,49	<LOD
Půdy 43	43	20703,67	18382,62	306,49	494,86	2676,36	90892,18	413,74	41,18	134,45	13,39	40,06	206,19	180,17	25,23	<LOD
Půdy 44	44	8058,18	9542,97	100,85	233,31	2177,23	42996,34	175,85	<LOD	120,56	18,52	32,55	70,19	154,66	40,97	<LOD
Půdy 45	45	7753,11	14012,87	196,21	268,66	1686,98	55596,47	<LOD	22,31	116,32	17,45	41,36	84,96	223,06	33,66	<LOD
Půdy 46	46	10527,52	11688,82	135,87	296,4	1595,44	56426,69	219,38	31,63	111,76	<LOD	59,6	86,41	192,25	31,33	<LOD
Půdy 47	47	5608,4	8844,41	109,32	220,12	1276,9	49388,98	<LOD	39,56	162,97	9,42	78,48	84,33	172,43	66,66	8,6
Půdy 48	48	8615,97	8828,8	148,54	221,45	1090,49	50032,87	<LOD	51,4	223,29	37,2	47,98	83,55	115,06	229,26	<LOD
Půdy 55	55	6783,37	9654,2	162,89	271,93	1050,62	53505,94	281,82	39,36	166,66	28,55	54,61	92,53	127,29	173,98	<LOD
Půdy 56	56	10048,97	14407,97	242,73	380,81	2113,17	64030,45	<LOD	32,79	200,28	12,05	54,04	155,87	197,53	61,63	<LOD

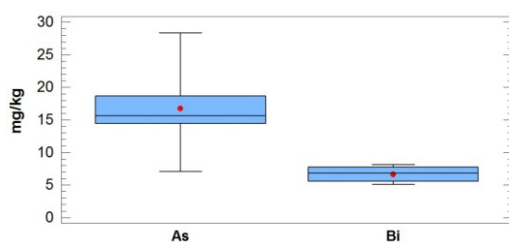
Tabulka 16: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy (mg/kg sušiny). Vzorky vyloučeny jako ovlivněny těšinitou na základě shlukovací analýzy

Vzorek č. 34 a 43 pro Ca, vzorek č. 34 pro Ti, vzorek č. 34 a 43 pro Fe, vzorek č. 48 pro Cu, vzorek č. 34 pro Zn, vzorek č. 40, 43, 56 pro Sr, vzorek č. 34, 48 a 56 pro Pb, jsou vzorky, které byly v souboru na těšinitě vyloučeny jako extrémní hodnoty, na základě Dixonova testu.

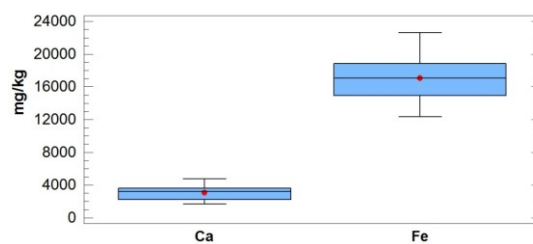
	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Průměr	8992,16	11864,2	163,19	296,72	1811,95	56696,65	256,89	33,98	162,25	19,60	57,21	85,80	164,56	49,60	8,44
Medián	8337,08	11424,52	142,53	283,37	1689,82	56011,58	244,63	35,33	166,66	18,52	52,73	84,96	172,28	40,97	8,44
Střed.od.	3510,48	3218,19	67,36	104,81	651,80	9165,472	84,24	6,53	38,01	8,16	19,18	11,88	39,59	19,81	0,23
Minimum	4999,43	8606,74	75,96	102,35	1050,62	42996,34	149,81	22,31	111,76	9,42	32,55	70,19	82,84	25,23	8,27
Maximum	17443,65	18382,62	306,49	494,86	3162,22	76501,13	413,74	41,18	223,29	37,2	96,73	111,79	223,06	84,49	8,6
Práh g. a.	16013,13	18300,59	297,91	506,34	3115,56	75027,59	425,36	47,03	238,26	35,92	95,57	109,55	243,74	89,21	8,90

Tabulka 17: Statistické parametry a geochemické pozadí lesních půd s těšinitovou asociací (v tabulce č. 16 označeno bílou)

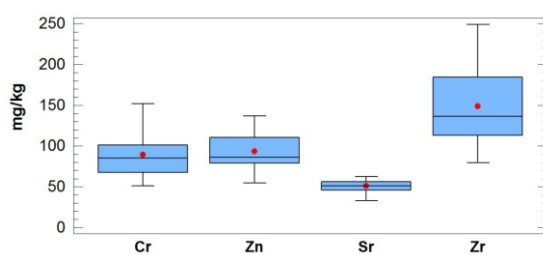




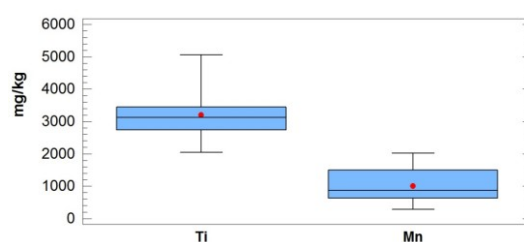
Obrázek 10: Krabicové grafy As a Bi v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů



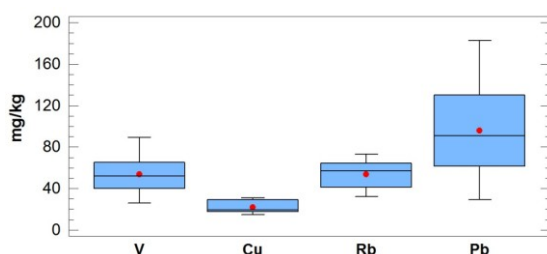
Obrázek 11: Krabicové grafy Ca a Fe v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů



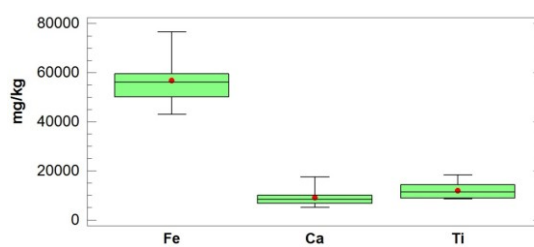
Obrázek 12: Krabicové grafy Cr, Zn, Sr a Zr v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů



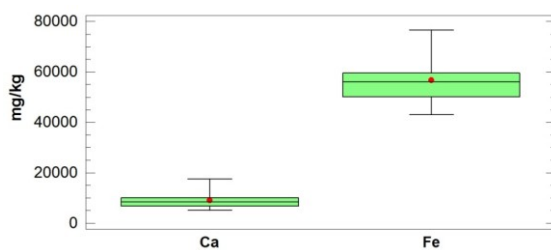
Obrázek 13: Krabicové grafy Ti a Mn v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů



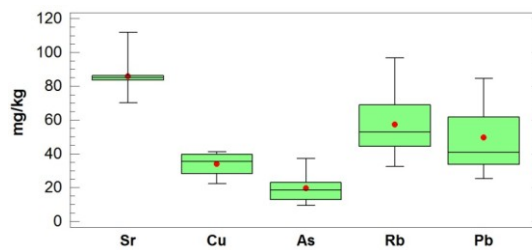
Obrázek 14: Krabicové grafy V, Cu, Rb a Pb v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů



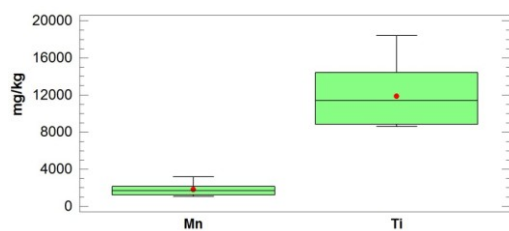
Obrázek 15: Krabicové grafy Fe, Ca a Ti v rámci lesních půd na těšínitech



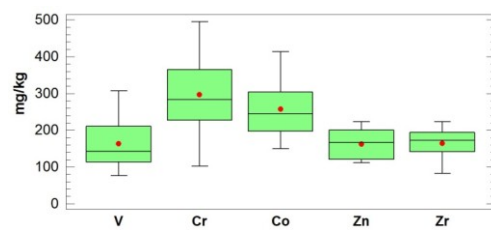
Obrázek 16: Krabicové grafy Ca a Fe v rámci lesních půd na těšínitech



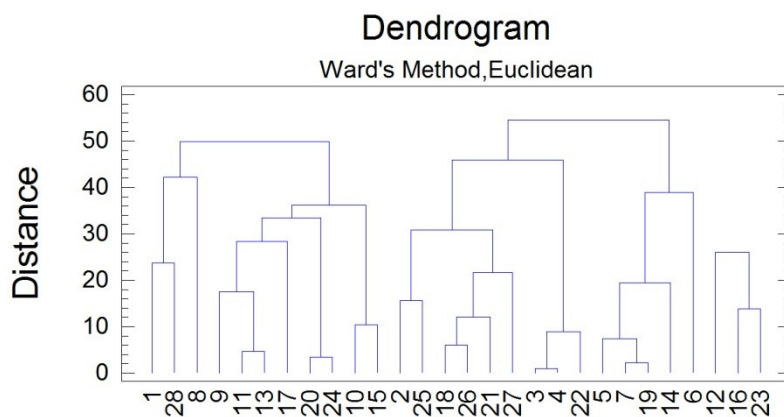
Obrázek 17: Krabicové grafy Sr, Cu, As, Rb a Pb v rámci lesních půd na těšínitech



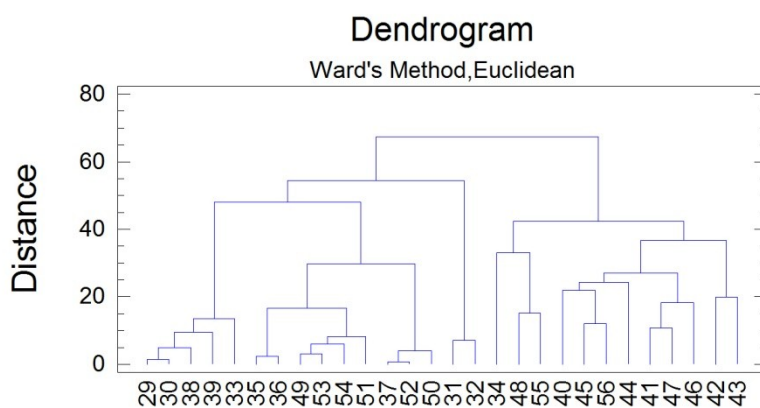
Obrázek 18: krabicové grafy Mn a Ti v rámci lesních půd na těšínitech.



Obrázek 19: krabicové grafy V, Cr, Co, Zn a Zr v rámci lesních půd na těšínitech.



Obrázek 20: Dendrogram vzorků půd v oblasti obce



Obrázek 21: Dendrogram vzorků lesních půd

#### 6.4.1 Geochemické pozadí a práh geochemické anomálie

V dnešní době existuje mnoho definic geochemického pozadí. V oblasti environmentální geochemie definuje Porteous (2008) geochemické pozadí jako požadovou koncentraci znečišťujících látek, tzn. pokud je určitá oblast znečištěna nějakou látkou z určitého lokálního zdroje, pak geochemické pozadí je taková koncentrace sledované látky, která by existovala bez přítomnosti tohoto lokálního zdroje. Dle normy ČSN EN ISO 19258 Kvalita půdy je geochemické pozadí označeno jako: „*Statistická charakteristika obsahu látky v půdě, který pochází z přírodních geologických a pedologických procesů, s vyloučením jakéhokoli příspěvku lidského původu*“.

Geochemické pozadí (střední hodnota koncentrací, které kolísají kolem střední hodnoty) se stanovuje na základě dvou přístupů. Základní soubor se může hodnotit různými parametry. Podle ČSN EN ISO 19258 - Kvalita půdy, je v případě normálního rozdělení hodnotou pozadí aritmetický průměr a anomální hodnoty (**práh geochemické anomálie**) se hodnotí nad mez geochemického pozadí + 2krát směrodatná odchylka. V případě nenormálního rozdělení (log – normální rozdělení) se jako hodnoty pozadí používají percentily (medián). Nástroj, který umožňuje vyhodnotit, který z přístupů zvolit je histogram nebo test normality. Tato norma stanovuje geochemické pozadí na základě identifikace a následného vyloučení odlehlých hodnot, které mají původ v bodových zdrojích znečištění.

V mém případě byla vybrána metoda normálního rozdělení, která patří mezi nejčastěji používanější metody stanovení geochemického pozadí (PANNO et al., 2006). Tato metoda však neumožňuje přítomnost více populací a používá se pro data se symetrickým rozdělením (REIMANN a GARRETT, 2005; BOUŠKA et al., 1980). Pokud je soubor dat s asymetrickým rozdělením a je zde možná přítomnost více populací, je na místě použít některou z neparametrických metod stanovení (MASTCHULLAT et al., 2000).

## 7 VYHODNOCENÍ

### 7.1 Zhodnocení geochemického pozadí

Na základě mých zjištěných hodnot geochemického pozadí (viz. tabulka č. 18) mohu provést pro **půdy intravilární** porovnání s celkovými obsahy rizikových prvků podle Podlešákové et al. (1997), tabulka č. 19. Horniny těšínitové asociace jsou zařazeny mezi bazika – ultrabazika, dále jsou zde i hodnoty pískovců, proto je zmíněná tabulka pro srovnání s mými daty nejvhodnější. Pro **lesní půdy** provedu srovnání s tabulkou č. 20.

**Intravilární půdy bez těšínitové asociace** vykazují oproti Podlešákové (1997) vyšší obsahy V, Cu, Cr, Mn, Co, Zn a podobné obsahy jsou u Pb.

**Intravilární půdy ovlivněné těšínity** mají oproti Podlešákové (1997) nižší obsahy V, As a Pb, vyšší obsahy Cr, Mn, Co, Zn a podobné obsahy jsou u Cu.

**Lesní půdy bez těšínitové asociace** vykazují oproti Matýskovi (2008) vyšší obsahy Ca, Ti, Mn, Rb a Zr, nižší obsahy u Fe, Co, Zn, As a podobné obsahy jsou u V, Cr, Cu, Sr a Bi, nižší obsah ukazuje Pb.

**Lesní půdy ovlivněné těšínity** mají oproti Matýskovi (2008) vyšší obsah Ca, V, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Rb, Sr a Zr, nižší obsahy As, Pb a podobné obsahy Zn a Bi.

	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Bi
Intravilární půdy bez těšínitové asociace															
průměr			81	125	772		182	36	141	13				40	
Intravilární půdy ovlivněné těšínity															
průměr			129	262	1611		215	40	121	11				28	
Lesní půdy bez těšínitové asociace															
průměr	3048	3200	54	89	998	17044	108	23	93	18	53	51	149	96	7
Lesní půdy ovlivněné těšínity															
průměr	8992	11864	163	297	1812	56697	257	34	162	20	57	86	165	50	8

Tabulka 18: Hodnota aritmetického průměru (geochemického pozadí) vybraných rizikových prvků půd zájmové oblasti Rybí

	Hg	As	Cd	Be	Pb	Zn	Cu	V	Mn	Co	Cr	Ni
Pískovec	0.17	6.1	0.16	1.96	35.7	60.9	14.4	51.0	566	8.9	40.1	18.4
<b>Svahoviny</b>												
Ultrabazik	0.17	22.1	0.17	2.76	40.8	103	46.7	156	906	28.1	149	59.5
Bazik	0.16	18.2	0.19	2.08	31.4	113	50.5	166	1136	40.1	236	81.0

Tabulka 19: Hodnoty pozadí rizikových prvků (celkové obsahy) pro jednotlivé půdně- litologické skupiny v mg/kg (Podlešáková et al. 1997) v (RACLAVSKÝ et al., 2009)

Prvek	V	Cr	Mn	Fe	Zn	As	Pb	Cu
Průměr	48,46	80,49	464,11	27857,96	177,151	29,83	225,55	19,39
Prvek	Ca	Ti	Rb	Sr	Zr	Co	Ba	Bi
Průměr	2358,71	2425,41	38,71	48,49	90,7	216,39	466,24	7,33

Tabulka 20: Koncentrace chemických prvků (MATYSEK et al., 2008)

## 7.2 Zhodnocení kontaminace

Kontaminaci lze hodnotit podle různých hledisek. V mém případě jsem zvolila jako kritérium hodnotu prahu geochemické anomálie, tzn. kontaminace je zřejmá tehdy, pokud je naměřená koncentrace prvků větší než práh geochemické anomálie.

Co se týká lesních půd, práh geochemické anomálie přesahovaly následující vzorky: **Ca** (vzorek č. 40), **Ti** (vzorek č. 43), **V** (vzorek č. 43), **Mn** (vzorek č. 42), **Fe** (vzorek č. 42), **As** (vzorek č. 48), **Rb** (vzorek č. 1) a **Sr** (vzorek č. 42). Tyto anomálie lze přisuzovat těšínitové asociaci, kde je zvýšený výskyt těchto rizikových prvků přirozený, tudíž zakrývá jakoukoli antropogenní kontaminaci.

V rámci intravilánních půd lze mírnou kontaminaci (na základě prahu geochemické anomálie) pozorovat u **Ti** (vzorek č. 8), **Mn** (vzorek č. 24 a 8), **Fe** (vzorek č. 8), **As** (vzorek č. 14), **Cr** (vzorek č. 8) a **Rb** (vzorek č. 6).

Mnohem vyšší kontaminaci lze vidět u **Pb** (vzorek č. 1, 9, 14 a 28) a **Zn** (vzorek č. 1 a 17). Pro tyto vzorky byl proveden hloubkový odběr.

### Zhodnocení hloubkového odběru:

V tabulce č. 21 jsou uvedeny výsledky RTG-fluorescenční analýzy vzorků odebraných v intravilánu obce, které v povrchovém horizontu vykazovaly zvýšenou hodnotu, a proto lze očekávat kontaminaci. Lze zde vidět, které vzorky vykazovaly v povrchovém horizontu znatelně větší obsah a které vzorky naopak větší obsah v podloží.

	Ca	Fe	Ti	Cr	Zn	Sr	Zr	V	Cu	As	Pb
	(% )			(mg/kg)							
1P	3,11	4,04	0,55	152	255	181	168	104	48	17	88
1H	3,38	4,24	0,58	219	300	207	176	79	44	14	61
9P	3,61	2,92	0,35	95	238	145	138	63	55	11,5	60
9H	0,92	4,07	0,61	115	127	119	205	86	30	12	33
17P	1,41	3,34	0,41	142	370	124	135	75	30	12,6	48
17H	1,42	4,58	0,56	176	160	119	178	109	36	8	36
28P	1,71	3,11	0,41	124	147	178	149	99	41	10	101
28H	1,14	2,26	0,41	88	68	83	290	85	19	8	39

Tabulka 21: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy vzorků (P – povrchových, H – hloubkových) odebraných v intravilánu obce, které v povrchovém horizontu vykazovaly anomální hodnotu

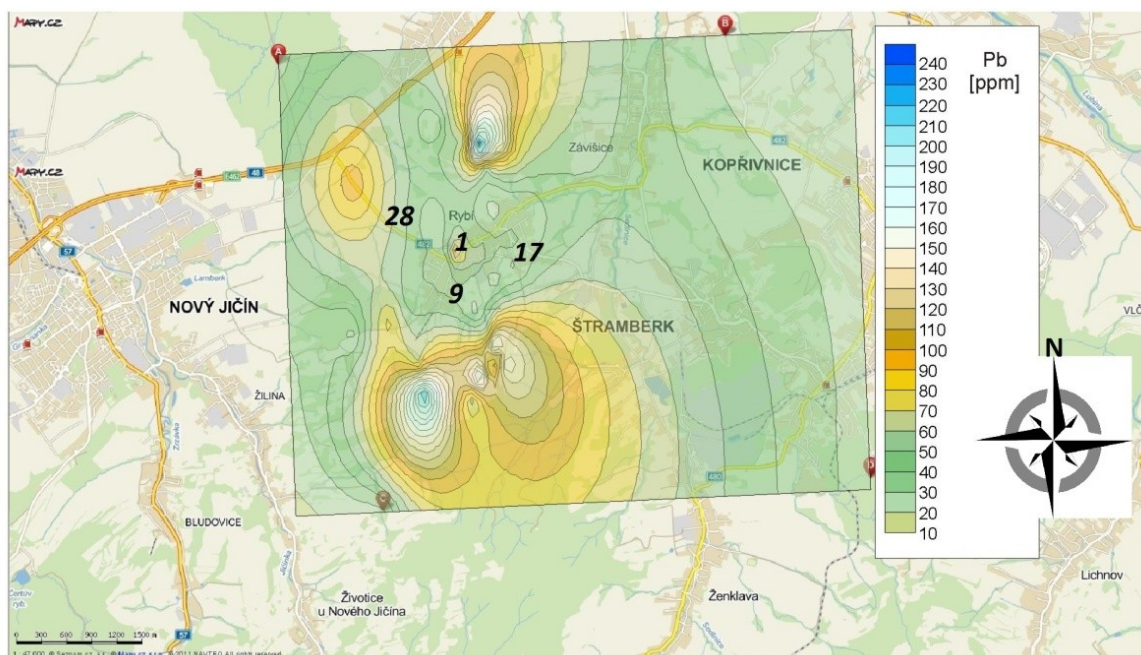
Vysvětlivky: červeně jsou označeny koncentrace v povrchovém horizontu půd, které jsou vyšší než hodnoty půd v podloží, světle hnědě jsou označeny koncentrace s hodnotami, které jsou vyšší v podložních horninách.

Pro vzorky č. 1P (88 mg/kg), 9P (60 mg/kg), 17P (48 mg/kg) a 28P (101 mg/kg) je typická zvýšená hodnota koncentrace konkrétně u **Pb**, které se vyskytuje jen v povrchovém horizontu. Tyto koncentrace jsou pravděpodobně způsobeny antropogenní kontaminací. Ze shlukovací analýzy vyplývá, že v podloží půd se nevyskytují vyvřelé horniny na bázi těšinitů – pikritů. Tyto vzorky ukazují taktéž obsahy Pb vyšší než je hodnota aritmetického průměru souboru (39.50). Olovo ve studovaném souboru nevykazuje s žádným prvkem významnou statistickou závislost. Lze tedy předpokládat, že zvýšené obsahy Pb nesouvisí s charakterem podložních hornin, ale budou odrážet antropogenní kontaminace. Vzorky 9,17,28 leží bezprostředně u komunikace spojující Rybí s Novým Jičín a Kopřivnicí, vzorek č. 1 je od komunikace vzdálen cca 20 m.

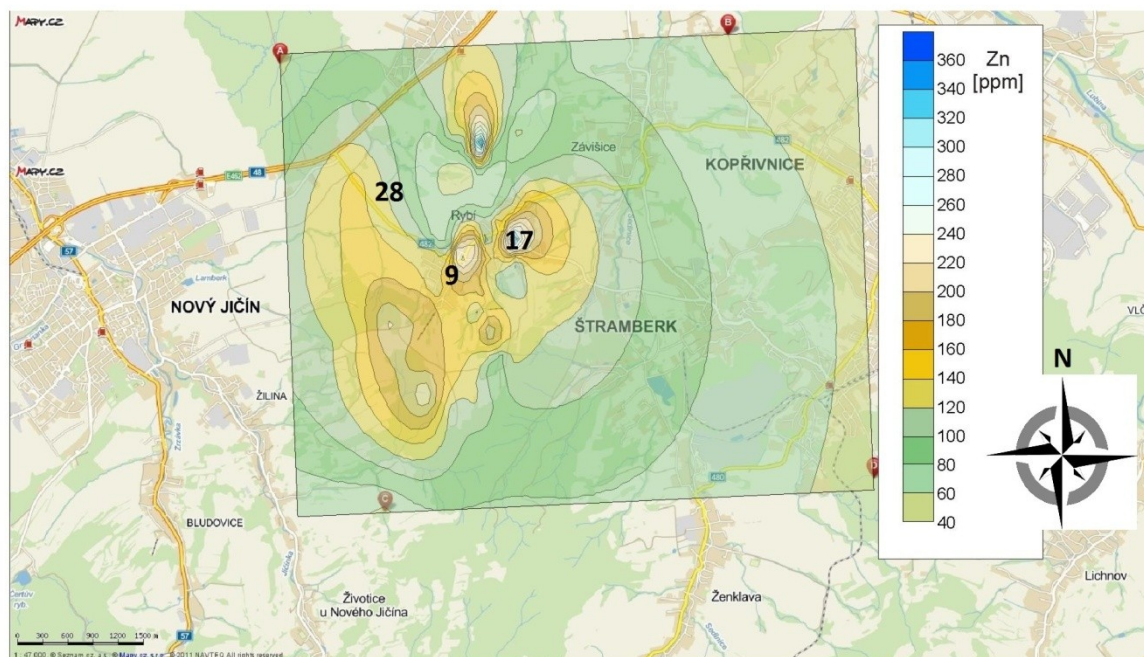
Vzorky č. 9 (238 mg/kg), 17 (370 mg/kg) a 28 (147 mg/kg) jsou charakteristické vyšším obsahem **Zn** v povrchovém horizontu. Pro celý soubor půd v intravilánu obce byla zjištěna statisticky významná korelační závislost ( $r = 0.78$ ) mezi koncentrací Ca a Zn v půdách. Je pravděpodobné, že koncentrace Zn nejsou antropogenního původu a souvisí s charakterem podložních hornin.

Z hodnot koncentrace kovů byly pomocí software SURFER verze 8 (Golden Software Inc.) zkonstruovány mapy plošné distribuce. Mapy byly konstruovány pomocí krigování (sférický model semivariogramu, bez driftu). Příklady map pro Pb a Zn jsou uvedeny na obr. č. 22 a 23). Hloubkovým vzorkováním byly ověřeny pouze anomálie zjištěné pro vzorky půd odebrané z intravilánu obce. Vybrané vzorky překračovaly pro Pb (vzorek č. 1 a 28) také hodnotu prahu geochemické anomálie (59 mg/kg) a pro Zn (242 mg/kg) je u vzorku č. 17 práh geochemické anomálie taktéž překročen a u vzorku č. 9 se koncentrace anomálii blíží.





Obrázek 22: Mapa plošné distribuce olova s vyznačením anomálie v půdách intravilánu obce, ostatní anomálie jsou vázány na lesní půdy



Obrázek 23: Mapa plošné distribuce zinku s vyznačením anomálie v půdách intravilánu obce, ostatní anomálie jsou vázány na lesní půdy

## 8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo stanovit obsah vybraných těžkých kovů v lesních a intravilánních půdách v okolí obce Rybí a následné posouzení možné příčiny kontaminace. Provedla jsem odběr celkem 56-ti vzorků, které jsem v laboratoři analyzovala a určila koncentrace jednotlivých prvků. Byly zjištěny tyto poznatky:

- Na základě naměřených koncentrací rizikových prvků v lesních půdách a následného vyhodnocení geochemického pozadí a prahu geochemické anomálie se potvrdila přítomnost těšínitů v podloží. Tyto horniny jsou specifické zvýšeným obsahem těžkých kovů (Ti, Cr, Ni, Co, Ba, atd.), které se projevují v půdách. Vysoký obsah Cr, Ti a korelace mezi Cr – Ti – Fe dokládají přítomnost pikritických hornin v podloží. Další zvýšené obsahy byly u Ca (vzorek č. 40), V (vzorek č. 43), Mn (vzorek č. 42), As (vzorek č. 48), Rb (vzorek č. 1) Sr (vzorek č. 42). Zvýšený přirozený výskyt těchto prvků vylučuje jakoukoli antropogenní kontaminaci.
- Co se týká intravilánních půd, bylo zjištěno, že kontaminace ukazuje na dva rizikové prvky, a to olovo a zinek, kde byly zvýšené koncentrace v povrchovém horizontu. Na základě hloubkového odběru bylo vyhodnoceno, že Pb nesouvisí s charakterem podložních hornin. Taktéž na základě shlukovací analýzy byla těšínitová asociace vyloučena. Je tedy zřejmé, že tyto anomálie souvisí s antropogenní kontaminací. Vzorky 9,17,28 leží bezprostředně u komunikace spojující Rybí s Novým Jičínem a Kopřivnicí. Příčinou této kontaminace může tedy být doprava, jelikož Pb je součástí brzdového obložení. Zinek taktéž vykazuje kontaminaci v povrchovém horizontu, ale byla zjištěna významná korelační závislost mezi Ca a Zn v půdě. Je tedy pravděpodobné, že zinek souvisí s charakterem podložních hornin.

Vyhodnocené geochemické pozadí intravilánních půd bylo porovnáno s obsahy rizikových prvků podle Podlešákové et al. (1997). Pro lesní půdy byla použita analýza lesních půd Beskyd, podle Matýska et al. (2008):

- ***Intravilánní půdy bez těšínitové asociace*** vykazují oproti Podlešákové (1997) vyšší obsahy V, Cu, Cr, Mn, Co, Zn a podobné obsahy jsou u Pb.
- ***Intravilánní půdy ovlivněné těšínitovými těšínitovými*** mají oproti Podlešákové (1997) nižší obsahy V, As a Pb, vyšší obsahy Cr, Mn, Co, Zn a podobné obsahy jsou u Cu.
- ***Lesní půdy bez těšínitové asociace*** vykazují oproti Matýskovi (2008) vyšší obsahy Ca, Ti, Mn, Rb a Zr, nižší obsahy u Fe, Co, Zn, As a podobné obsahy jsou u V, Cr, Cu, Sr a Bi, nižší obsah ukazuje Pb.
- ***Lesní půdy ovlivněné těšínitovými těšínitovými*** mají oproti Matýskovi (2008) vyšší obsah Ca, V, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Rb, Sr a Zr, nižší obsahy As, Pb a podobné obsahy Zn a Bi.

V případě možnosti pokračování v navazujícím studiu by bylo možné tuto práci rozšířit o silikátovou analýzu hornin těšínitové asociace, které by byly na zájmovém území



nasbírány. Dále by bylo vhodné zabývat se podrobněji tematikou těchto hornin a doplnit nové analýzy půdních vzorků, např. zjistit korelaci mezi obsahem těžkých kovů a pH, sledovat množství humátů a humínových kyselin ve vzorku, aj.

## **SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- ALLOWAY, B.. *Heavy metals in soils*. Second edition. Great Britain: Blackie Academic and Professional, an imprint of Chapman and Hall, 1995, s. 368. ISBN 0 7514 0198 6.
- BENEŠ, S. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí: II. část*. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 1994, s. 159. ISBN 80-7084-090-0.
- BOUŠKA, V., P. JAKEŠ, T. PAČES a J. POKORNÝ. *Geochemie*. Praha: Academia, 1980. ISBN 161970-5413/99.
- ČIHAŘ, M. *Naše hory*. Praha: Ottovo nakladatelství CESTY, 2002, s. 279. ISBN 80-7181-760-0.
- ČSN EN ISO 10390 (836221), *Kvalita půdy – Stanovení pH*, březen 2011.
- ČSN EN ISO 19258:2005, *Kvalita půdy - Návod pro stanovení hodnot pozadí*. In: Úřad pro technickou normlizaci, metrologii a státní zkušebnictví, leden 2012.
- DEMEK, J a kolektiv. *Zeměpisný lexikon ČSR: Hory a nížiny*. Praha: Academia, 1987, 584 s.
- GREENWOOD, N. N. a A. EARNSHAW. *Chemie prvků*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993. sv. 2. ISBN 80-85427-38-9.
- HEJTMAN, B. *Petrografie*. 3. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981, s. 261. ISBN 04 - 410 – 81.
- JANDÁK, J., A. PRAX a E. POKORNÝ. *Půdoznalství*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. ISBN 80 - 7157 - 559 - 3.
- KOZÁK, J. a kolektiv. *Atlas půd České republiky*. 2. upravené vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2009, s. 150. ISBN 978-80-213-2008-6.
- LUKASOVÁ, A. a J. ŠARMANOVÁ. *Metody shlukové analýzy*. Praha: SNTL, 1985, 210 s.
- MARSHALL, C. P. a R. W. FAIRBRIDGE, Rhodes. *Encyclopedia of geochemistry*. Great Britain: Kluwer Academic Publishers, 1999. ISBN 0-412-75500-9.
- MATÝSEK, D., H. RACLAVSKÁ a K. RACLAVSKÝ. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics: Correlation between Magnetic Susceptibility and Heavy Metal Concentrations in Forest Soils of the Eastern Czech Republic*. March 2008, Volume 13, Issue 1, pp. 13 - 26.
- MELOUN, M. a J. MILITKÝ. *Kompedium statistického zpracování dat: Metody a řešené úlohy*. 2. vyd. Praha: Academia, 2006, 982 s. ISBN 80-200-1396-2.
- MENČÍK, E. a kolektiv. *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. Praha: Československá akademie věd, 1983.
- MIŠTERA, L, J. DEMEK a O. BAŠOVSKÝ. *Geografie Československé socialistické republiky*. Učebnice pro vysoké školy. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1985, 385 s.
- NAJBRT, P. *Beskydy a Valašsko: průvodce Olympia*. Praha: Olympia, 1974, s. 272. ISBN 80-7075-654-3 9.
- NAVRÁTILOVÁ, L., M. SOTOLÁŘOVÁ a A. GRMELA. *Metody multiparametrických analýz v hydrogeochemii*. In: Hydrogeochemia 04: VIII. ročník mezinárodní vědecké konference Teorie a

praxe v hydrogeologických aplikacích : 24.6.-25.6.2004 Ostrava. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004, s. 85-88. ISBN 8024805847.

NĚMEČEK, J., R. VÁCHA a E. PODLEŠÁKOVÁ. *Hodnocení kontaminace půd v ČR*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2010, ISBN 978-80-86561-02-4.

POPL, M. a J. FAHNRICH. *Analytická chemie životního prostředí*. 2. vyd. Praha: Ediční středisko VŠCHT, 1992 s. 238. ISBN 80-7080-165-4.

PORTEOUS, A. *Dictionary of Environmental Science and Technology*. 4rd Ed. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 2008, 794 s. ISBN 978-0-470-06195-4.

*Půdní mapa ČR: List 25 - 21 Nový Jičín*. Praha: Český geologický ústav, 1993.

RACLAVSKÝ K., D. MATÝSEK a H. RACLAVSKÁ. *Mapa geochemické reaktivity horniny – list Nový Jičín*. (1999). MS Geofond.

RACLAVSKÝ K., H. RACLAVSKÁ, D. MATÝSEK, V. HOMOLA. *Geochemie – multimediální texty*, CD-ROM. MS VŠB – TU Ostrava, 2009.

ROOS, S. M., M. D. WOOD, D. COPPLESTONE, M. WARRINER, P. CROOK. *UK soil and Herbage. Pollutants Survey*. Bristol: Environment Agency, 2007. ISBN 978-1-84432-772-0.

SCHWALBOVÁ, J. *Formy výskytu rizikových prvků v kanalizační síti v Ostravě*. Ostrava, 2012. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

SPARKS, D. L. *Environmental soil chemistry*. 2. vyd. USA: Academic Press, San Diego, CA 2003, s. 352. ISBN 978-0-12-656446-4.

SPIŠIAK, J. a D. HOVORKA. *Polskie towarzystwo mineralogiczne – Prace specjalne mineralogical society of Poland – special papers: Teschenite clan rocks and their possible analogues in the Western Carpathians*. 2004, Zeszyt 24, 2004; Volume 24.

ŠPUNDA, V. *Biologie, ekologie: Sborník prací přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity*. 1. vyd. Ostrava: REPROINS, 2001, s. 188. ISBN 80-7042-811-2-

TOLASZ, R. a kolektiv. *Atlas Podnebí Česka: Climate Atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, 2007, s. 255. ISBN 978-80-244-1626-7.

TOMÁŠEK, M. *Půdy České republiky*. Praha: Česká geologická služba, 2007. ISBN 978-80-7075-688-1.

TREBICHAŤSKÝ, J., D. HAVRDOVÁ a M. BLOHBERGER. *Škodliviny I: Toxické kovy*. Kutná Hora: NSO, 1998.

WILKINSON, J. P. G. *The geochemistry of a differentiated teschenite sill near Gunnedah, New South Wales: Geochimica et Cosmochimica Acta*. May 1959, Volume 16, Issues 1–3, Pages 123–150.

## **INTERNETOVÉ ODKAZY**

BURIÁNEK, D. a Z. SKÁCELOVÁ. *Význam magnetické susceptibility pro geologické mapování hornin těšínitové asociace na listu 1 : 25 000 Starý Jičín (25-124)*. [Http://www.sci.muni.cz/](http://www.sci.muni.cz/) [online]. Brno 2007, Geol. výzk. Mor. Slez. 2006, s. 62 - 65 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: [http://www.sci.muni.cz/gap/casop/r2007/burianek07\\_62.pdf](http://www.sci.muni.cz/gap/casop/r2007/burianek07_62.pdf)

MATSCHULLAT, J., R. OTTENSTEIN a C. REIMANN. *Geochemical background - can we calculate it?* Environmental Geology. 2000, roč. 39, č. 9, s. 990-1000. ISSN 0943-0105. Dostupné z: doi:10.1007/s002549900084.

Metody měření znečišťujících látek v únicích do půdy: U.S. EPA method 6200:2005 Field portable X – ray fluorescence spektrometry. [Irz.cz\[online\]](http://www.irz.cz/irz/metody-mereni/olovo_a_sl.html#puda). 2005-2008 [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/irz/metody-mereni/olovo\\_a\\_sl.html#puda](http://www.irz.cz/irz/metody-mereni/olovo_a_sl.html#puda)

PANNO, S. V., W. R. KELLY, A. T. MARTINSEK a K. C. HACKLEY. *Estimating Background and Threshold Nitrate Concentrations Using Probability Graphs. Ground Water*. 2006, roč. 44, č. 5, s. 697-709. ISSN 1745-6584. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745- 6584.2006.00240.x

Přírodní park Podbeskydí. In: [Chkopoodri.infomorava.cz](http://www.chkopoodri.infomorava.cz) [online]. 2008 [cit. 2012-10-27]. Dostupné z: <http://www.chkopoodri.infomorava.cz/encyklopedie/objekty1.phtml?id=70718>

REIMANN, C. a R. G. GARRETT. *Geochemical background-concept and reality*. Science of The Total Environment. 2005, roč. 350, č. 1-3, s. 12-27. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.047>

ŠUCMANOVÁ M., M. ZISCHKA a V. ADAMEC. *K metodám stanovení některých rizikových mikroelementů z dopravy v prachových částicích*. [Www.cdv.cz](http://www.cdv.cz) [online]. 2004, Sekce životního prostředí, Centrum dopravního výzkumu, č. 1, s. 10 [cit. 2013-03-13]. Dostupné z: <http://www.cdv.cz/text/szp/ovzdusi/platina.pdf>

VRBA, V. a L. HULEŠ. *Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda*. [Biom.cz](http://biom.cz) [online]. 2006-11-14 [cit. 2013-02-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.

Obecné informace. In: [Rybi.cz](http://www.rybi.cz) [online]. 2006 [cit. 2012-10-27]. Dostupné z: <http://www.rybi.cz/>

Definice půdy. [Mzp.cz](http://www.mzp.cz)[online]. 2012, č. 1 [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice\\_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice\\_pudy-20080820.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)

Kontaminace půdy. [Mzp.cz](http://www.mzp.cz)[online]. 2012, č. 1 [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poskozeni\\_pudy\\_kontaminaci/\\$FILE/OOHPP-Poskozeni\\_%20pudy\\_kontaminaci-081119.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poskozeni_pudy_kontaminaci/$FILE/OOHPP-Poskozeni_%20pudy_kontaminaci-081119.pdf)

Kriteria lesní půdy. [Mzp.cz](http://www.mzp.cz)[online]. 2012, č. 1 [cit. 2013-02-07]. Dostupné [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/negativni\\_vlivy\\_puda/\\$FILE/OOHPP-Kriteria\\_lesni\\_%20pudy-20080820.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/negativni_vlivy_puda/$FILE/OOHPP-Kriteria_lesni_%20pudy-20080820.pdf)

Vliv pH. [Mzp.cz](http://www.mzp.cz)[online]. 2012, č. 1 [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/negativni\\_vlivy\\_puda/\\$FILE/OOHPP-Vliv\\_pH\\_na\\_dalsi\\_pudni\\_vlastnosti-20080820.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/negativni_vlivy_puda/$FILE/OOHPP-Vliv_pH_na_dalsi_pudni_vlastnosti-20080820.pdf)

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa území v měřítku 1:1000 (zdroj: <a href="http://www.geoportal.gov.cz">www.geoportal.gov.cz</a> ) .....	3
Obrázek 2: Geologická mapa 1: 50 000 (zdroj: <a href="http://www.geology.cz">www.geology.cz</a> ) .....	4
Obrázek 3: Vzorkovací síť vymezeného území (zdroj: <a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a> ) .....	19
Obrázek 4: Rozdělení vzorků půd v oblasti obce v rámci shlukovací analýzy (zdroj: <a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a> ) .....	26
Obrázek 5: Krabicové grafy Ca a Fe v rámci venkovský pud bez ovlivnění těšinitů	
Obrázek 6: Krabicové grafy Ti a Mn v rámci venkovských půd bez ovlivnění těšinitů. ....	29
Obrázek 7: Krabicové grafy Cr, Co, Zn, Sr	
Obrázek 8: Krabicové grafy V, Cu, As, Rb, Pb a Zr v rámci venkovských půd bez těšinitů	
Obrázek 9: Rozdělení vzorků lesních půd podle výsledků shlukovací analýzy .....	30
Obrázek 10: Krabicové grafy As a Bi .....	33
Obrázek 11: Krabicové grafy Ca a Fe v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů .....	33
Obrázek 12: Krabicové grafy Cr, Zn, Sr a Zr v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů ..	33
Obrázek 13: Krabicové grafy Ti a Mn v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů .....	33
Obrázek 14: Krabicové grafy V, Cu, Rb a Pb v rámci lesních půd bez ovlivnění těšinitů	33
Obrázek 15: Krabicové grafy Fe, Ca a Ti v rámci lesních půd na těšínitech .....	33
Obrázek 16: krabicové grafy Ca a Fe v rámci lesních půd na těšínitech. ....	33
Obrázek 17: krabicové grafy Sr, Cu, As, Rb a Pb v rámci lesních půd na těšínitech. ....	33
Obrázek 18: krabicové grafy Mn a Ti v rámci lesních půd na těšínitech. ....	34
Obrázek 19: krabicové grafy V, Cr, Co, Zn a Zr v rámci lesních půd na těšínitech. ....	34
Obrázek 20: Dedogram vzorků půd v oblasti obce .....	34
Obrázek 21: Dendogram vzorků lesních půd .....	34
Obrázek 22: Mapa plošné distribuce olova s vyznačením anomálie v půdách intravilánu obce, ostatní anomálie jsou vázány na lesní půdy .....	39
Obrázek 23: Mapa plošné distribuce zinku s vyznačením anomálie v půdách intravilánu obce, ostatní anomálie jsou vázány na lesní půdy .....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Chemická analýza vybraných hornin (RACLAVSKÝ et al., 1999) .....	6
Tabulka 2: Větrná růžice vymezeného území a okolí (TOLASZ et al., 2007) .....	9
Tabulka 3: Klarkové obsahy prvků (ppm) (BOUŠKA et al., 1980), Přirozené pozadí v půdách (TREBICHA VSKÝ et al., 1998) .....	18
Tabulka 4: Průměrné a maximální obsahy škodlivin v půdách ČR v mg/kg (TREBICHA VSKÝ et al., 1998) .....	18
Tabulka 5: Hodnoty pozadí rizikových prvků (celkové obsahy) pro jednotlivé půdně-litologické skupiny v mg/kg (Podlešáková et al. 1997) v (RACLAVSKÝ et al., 2009) .....	21
Tabulka 6: Maximálně přípustné obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách ČR, v mg/kg .....	21
Tabulka 7: Koncentrace chemických prvků v lesních půdách Beskyd (MATYSEK et al., 2008) .....	22
Tabulka 8: Hodnoty pH vzorků půd .....	23
Tabulka 9: Kritéria pro hodnocení půdní reakce pro lesní půdy (zdroj: <a href="http://www.mzp.cz">www.mzp.cz</a> ) .....	24
Tabulka 10: Výsledky RTG-fluorescencní analýza pro soubor intravilárních půd (mg/kg sušiny), extrémní hodnoty na základě Dixonova testu, označeny červeně. ....	27
Tabulka 11: Statistické parametry a geochemické pozadí půd v oblasti obce bez těšinitové asociace (v tabulce č. 10 označeno zeleně a modře) .....	28

Tabulka 12: Vzorke vyloučeny jako ovlivněny těšínity na základě shlukovací analýzy (mg/kg).....	28
Tabulka 13: Statistické parametry a geochemické pozadí půd v intravilánu obce s těšínitové asociací (v tabulce č. 12 označeno červeně).....	28
Tabulka 14: Výsledky RTG-fluorescence lesních půd (mg/kg). Extrémní hodnoty na základě Dixonova testu, označeny červeně .....	31
Tabulka 15: Statistické parametry a geochemické pozadí lesních půd bez těšínitové asociace (v tabulce č. 14 označeno zeleně ) .....	31
Tabulka 16: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy (mg/kg sušiny). Vzorke vyloučeny jako ovlivněny těšínity na základě shlukovací analýzy .....	32
Tabulka 17: Statistické parametry a geochemické pozadí lesních půd s těšínitovou asociací (v tabulce č. 16 označeno bílou).....	32
Tabulka 18: Hodnota aritmetického průměru (geochemického pozadí) vybraných rizikových prvků půd zájmové oblasti Rybí.....	36
Tabulka 19: Hodnoty pozadí rizikových prvků (celkové obsahy) pro jednotlivé půdně-litologické skupiny v mg/kg (Podlešáková et al. 1997) v (RACLAVSKÝ et al., 2009).....	36
Tabulka 20: Koncentrace chemických prvků (MATYSEK et al., 2008).....	37
Tabulka 21: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy vzorků (P – povrchových, H – hloubkových) odebraných v intravilánu obce, které v povrchovém horizontu vykazovaly anomální hodnotu .....	37